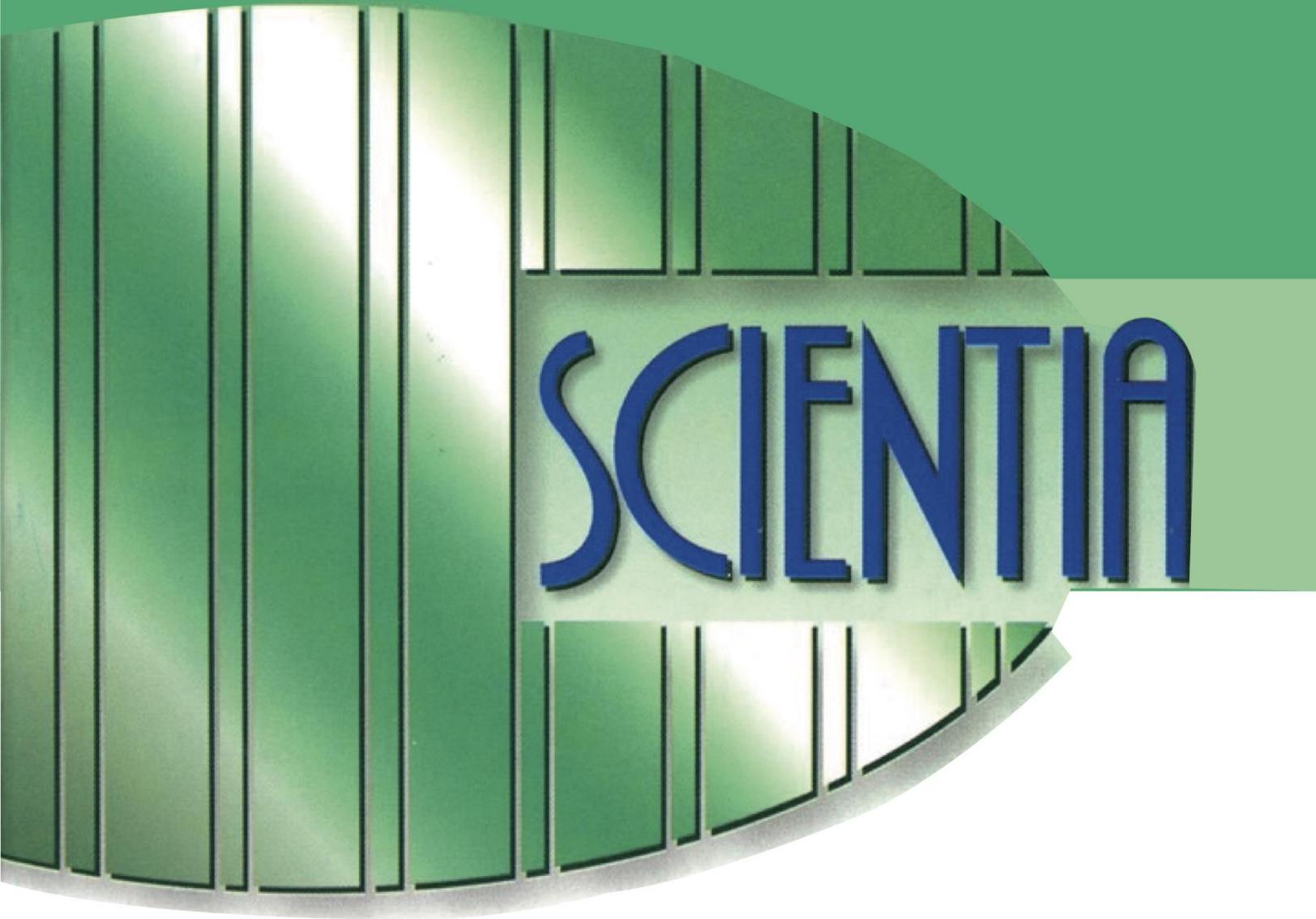


E-ISSN 2710-7647

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



**SCIENTIA**

---

**VOL.33, N° 1, enero - junio 2023**



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

**VOL.33, N° 1**

**ENERO-JUNIO 2023**



**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 Rivera**

Universidad de Panamá. Centro Regional Universitario de Veraguas. Centro de Capacitación, Investigación y Monitoreo de Biodiversidad. Panamá. Panamá. [jaime.rivera@up.ac.pa](mailto: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 de Colón. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Departamento de Zoología. Panamá. [alfredo.lanusa@up.ac.pa](mailto: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.  
<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](mailto:orlando.ortiz@up.ac.pa) <https://orcid.org/0000-0002-7805-0046>

**Kalina Bermúdez Torres**

Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-IPN. México.  
[kbermudes@ipn.mx](mailto:kbermudes@ipn.mx) <https://orcid.org/0000-0002-7267-7657>

**EDITORES ASOCIADOS/ASSOCIATED EDITORS****Abel Batista**

Universidad Autónoma de Chiriquí. Fundación Los Naturalistas. Panamá.  
<https://orcid.org/0000-0001-8053-3373>

**Aida Araceli Rodríguez Hernández**

Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-IPN. México.  
<https://orcid.org/0000-0001-9179-1888>

**Alessio Papini**

Università degli Studi di Firenze (UNIFI). Italia. <https://orcid.org/0000-0001-7904-0336>

**Alfredo Campos**

Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). Panamá. <https://orcid.org/0000-0001-7921-8309>

**Andrés Rivera-Mondragón**

Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá (INDICASAT). Panamá. <https://orcid.org/0000-0001-7426-5405>

**Ángel David Popa**

Health and Biosecurity division. Commonwealth Science and Industry Research Organisation Australia. <https://orcid.org/0000-0002-0683-8424>

**Arianna Michelle Hernández Sánchez**

Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-IPN. México.  
<https://orcid.org/0000-0001-9045-3537>

**Axel R. Concepción**

New York University, School of Medicine. Estados Unidos. <https://orcid.org/0000-0003-2971-3488>

**Brenda Hildeliza Camacho Díaz**

Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-IPN. México.  
<https://orcid.org/0000-0001-5562-0782>

**Carlos De Gracia**

University of Vienna, Austria. <https://orcid.org/0000-0003-0637-3302>

**Coral Jazvel Pacheco Figueroa**

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. DACBiol. México. <https://orcid.org/0000-0001-5281-9251>

**Daniel Medina**

Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT). Sistema Nacional de Investigación (SNI). Panamá. <https://orcid.org/0000-0002-5217-6353>

**Dionisio Olmedo**

Universidad de Panamá. CIFLORPAN. Panamá. <https://orcid.org/0000-0002-4681-1365>

**Dumas Gálvez**

Universidad de Panamá. Programa Centroamericano de maestría en Entomología. Panamá. <https://orcid.org/0000-0001-8699-8497>

**Eloisa Adriana Guerra Hernández**

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México. <https://orcid.org/0000-0003-3710-0884>

**Estela Sandoval Zapotitla**

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Instituto de Biología. México. <https://orcid.org/0000-0001-8905-9102>

**Eugenia López López**

Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México. <https://orcid.org/0000-0003-2696-533X>

**Federico Martinelli**

Università degli Studi di Firenze (UNIFI). Italia. <https://orcid.org/0000-0002-3981-0567>

**Félix Rodríguez**

Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI). Panamá. <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

**Gaspar Bruner**

Cambridge University. Reino Unido. <https://orcid.org/0000-0002-4614-0338>

**Gerardo Cruz Flores**

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México. <https://orcid.org/0000-0002-5604-2707>

**Hilario Espinosa**

University of Haifa. Israel. <https://orcid.org/0000-0003-2005-827X>

**Jean Michel Maes**

Museo Entomológico de León. Nicaragua. <https://orcid.org/0000-0002-5425-3439>

**Julio Castillo**

Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá (INDICASAT). Panamá. <https://orcid.org/0000-0002-6921-810X>

**Loraine Pérez**

Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI). Panamá. <https://orcid.org/0000-0003-0841-3363>

**Luc Legal**

Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement. Université Paul Sabatier. Francia/México. <https://orcid.org/0000-0003-0424-2931>

**María Viñas Meneses**

Universidad de Costa Rica. Costa Rica. <https://orcid.org/0000-0003-0644-0579>

**Mauricio Cattaneo**

Universidad Nacional de Tucumán. INQUINOA. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-5598-0814>

**Moisés A. Bernal**

Auburn University. Estados Unidos. <https://orcid.org/0000-0002-3236-8403>

**Nathalia Tejedor Flores**

Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). Panamá. <https://orcid.org/0000-0002-0154-1955>

**Omar López Alfano**

Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Sistema Nacional de Investigación (SNI). Panamá. <https://orcid.org/0000-0003-4953-2123>

**Omar Patiño Rodríguez**

Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos-IPN. México. <https://orcid.org/0000-0001-8449-798X>

**Oris Rodríguez**

Universidad de Panamá/Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI). Panamá. <https://orcid.org/0000-0002-2976-0017>

**Pedro Méndez-Carvajal**

Universidad de Panamá. Panamá. Fundación Pro-Conservación de los Primates Panameños (FCPP). Panamá. <https://orcid.org/0000-0003-1306-5869>

**Riccardo M. Baldini**

Università degli Studi di Firenze (UNIFI). Italia. <https://orcid.org/0000-0003-2181-3441>

**Rodolfo Flores**

Fundación Los Naturalistas. Panamá. <https://orcid.org/0000-0002-7911-9228>

**Romina D'Almeida**

CONICET. Instituto Superior de Investigaciones Biológicas. Argentina. <https://orcid.org/0000-0001-5075-6381>

**Rubí Guadalupe Utrilla Coello**

Universidad del Papaloapan. México. <https://orcid.org/0000-0002-5769-7449>

**Sandra Pérez Álvarez**

Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. México. <https://orcid.org/0000-0002-9211-0797>

**Sebastián Oriolo**

CONICET/Universidad de Buenos Aires. Instituto de Geociencias Básicas. Aplicadas y Ambientales. Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-2495-2431>

**Verena Roesch**

Universität Koblenz-Landau. Alemania. <https://orcid.org/0000-0002-0662-4338>

**Yehudi Rodríguez**

Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP). Panamá.  
<https://orcid.org/0000-0001-6947-9046>

**Yostin Aníño**

Universidad de Panamá. Museo de Invertebrados G. B. Fairchild. Panamá.  
<https://orcid.org/0000-0002-8870-8155>

**Yves Basset** – Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI). Panamá.  
<https://orcid.org/0000-0002-1942-5717>

## OBJETIVOS Y ALCANCE

**SCIENTIA** Journal of Basic Science and Technology (SJBST) (ISSN 0258-9702, E-ISSN 2710-7647), revista publicada por la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá desde 1986, tiene como objetivo contribuir al avance del conocimiento de las Ciencias Básicas (Biología, Química, Física, Matemática, Estadística) y Tecnología. Se publica en la modalidad de un volumen anual dividido en dos números o fascículos semestralmente (enero-junio, julio-diciembre) y ocasionalmente números especiales.

**SCIENTIA** publica trabajos científicos y técnicos, originales e inéditos, tanto en español como inglés. La Revista **SCIENTIA** utiliza el sistema de arbitraje doble ciego, asegurando confiabilidad del proceso de evaluación. Los manuscritos serán considerados para publicarse como "Artículo Científico" "Nota Corta", "Artículos de Revisión" y "Ensayo" La Revista **SCIENTIA** está indexada en Latindex, el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina (AmeliCA) y La Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Redalyc)

## AIMS AND SCOPES

**SCIENTIA** Journal of Basic Science and Technology (SJBST) is a Journal published by Vicerrectoria de Investigación y Postgrado, Universidad de Panamá, aiming to contribute to the progress of the knowledge of Basic Sciences (Biology, Chemistry, Physics, Mathematics, and Statistics) and Technology.

**SCIENTIA** is printed twice a year (January-June and July-December) with special issues published occasionally. Our journal publishes original papers in Spanish and English. All manuscripts are double-peer reviewed. Manuscripts are considered for publication as a "Regular Article," "Short Note," "Review Articles," and "Scientific Essays. **SCIENTIA** Journal of Basic Science and Technology is indexed in Latindex, the Regional Online Information System for Scientific

Journals of Latin America (AmelICA), and the Network of Scientific Journals of Latin America and the Caribbean, Spain, and Portugal (Redalyc).

### NORMAS DE PUBLICACIÓN

El propósito de la Revista **SCIENTIA** es dar a conocer a la comunidad las producciones científicas de los investigadores en el ámbito de las **Ciencias Básicas (Biología, Química, Física, Matemática y Estadística) y Tecnológicas**, dichas producciones deberán ser originales e inéditas. La Revista **SCIENTIA** se reserva el derecho de aprobar o rechazar las producciones presentadas a su consideración. Para garantizar el rigor editorial científico, se han desarrollado las presentes **Normas de Publicación**, las cuales buscan la regulación de las producciones presentadas y publicadas. La Revista **SCIENTIA** se vale del sistema de arbitraje a Doble Ciego descrito en sus **Lineamientos de Publicación**.

A fin de poner a disposición de la comunidad científica a nivel mundial, la Universidad de Panamá, a través del Vice-Rectorado de Investigación y Postgrado, ha dispuesto en sus servidores web un espacio para albergar la Revista **SCIENTIA**, la cual estará gestionada por su plataforma Open Journal Systems (OJS); los autores gestionarán todas sus Producciones Intelectuales por medio de esta plataforma, la misma estará disponible en:

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

En afán de garantizar la autoría, la Revista **SCIENTIA** se valdrá del Identificador Abierto de Investigador y Colaborador (Open Researcher and Contributor ID) **ORCID**, el mismo ayudará a reconocer a los Autores dentro del ámbito investigativo mundial, de allí, cada Autor deberá realizar su registro en la Plataforma OJS de la Revista **SCIENTIA** con dicho Registro ORCID.

Los manuscritos podrán ser presentados en el idioma español o inglés. Se espera que las producciones intelectuales presentadas contengan información novedosa y que estos representen una contribución sustancial al avance de un área específica del conocimiento. Los Autores podrán

presentar a la Revista **SCIENTIA** los siguientes tipos de Producciones Científicas: Artículo científico, Artículo corto, Artículo de revisión y Ensayos.

### TIPOS DE ARTÍCULOS

**Artículo científico:** representan producciones intelectuales derivadas de investigaciones culminadas. Debe incluir máximo 25 páginas empleando la siguiente estructura: resumen, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos y referencias.

**Artículo corto:** manuscrito breve que presenta resultados originales preliminares o parciales derivados de investigaciones en proceso. Pueden incluir comentarios sucintos y críticos que aportan un resultado original de un tema en específico. Incluye máximo cinco páginas y hasta dos figuras o tablas por trabajo. Presenta la misma estructura que un artículo científico.

**Artículo de revisión:** este tipo de artículo comprende el estado del arte actual del conocimiento sobre un tema en específico, donde el autor establece un aporte acorde a su criterio o perspectiva. La estructura de este artículo depende del investigador y será acorde a los de los temas que desarrolle a lo largo del manuscrito. Este tipo de artículo debe incluir máximo 30 páginas.

**Ensayo:** son artículos donde el autor presenta una postura crítica determinada sobre un tema en particular, la cual está basada en resultados propios y en literatura existente. Este tipo de artículo debe incluir máximo 20 páginas.

En casos especiales el Editor en Jefe podrá considerar la publicación de trabajos más extensos, monografías o actas de congresos o simposios.

### SOBRE EL MANUSCRITO

Los manuscritos deberán ser enviados en formato digital \*.doc. o \*.docx (descargar plantilla aquí) al correo electrónico oficial (revista.scientia@up.ac.pa) o mediante la plataforma OJS, considerando las siguientes especificaciones:

**Idioma:** español o inglés. Se les recomienda a los autores cuya lengua materna no sea el inglés, asegúrese de que su manuscrito haya sido leído y revisado por un hablante nativo o servicio

profesional antes de su envío (para evitar problemas relacionados a la ortografía, sintaxis, uso y estilo del inglés).

**Tamaño de página:** carta.

**Márgenes de página:** superior e inferior: 2.5 cm, izquierdo 3 cm y derecho 1.5 cm.

**Presentación del desarrollo:** 1 columna

**Fuente:** Arial.

**Tamaño de letra:** título del trabajo (14 puntos), resumen y palabras clave (10 puntos), contenido general (12 puntos).

**Interlineado:** resumen y referencias (interlineado sencillo), contenido del trabajo (1.5 puntos).

**Alineación:** justificado

Los nombres científicos de géneros, especies y subespecies deben ser escritos en cursiva (itálica). No debe emplear notas al pie de página a lo largo del manuscrito. Para las abreviaturas y sistema métrico decimal, debe utilizar las normas del Sistema Internacional de Unidades (SI). Utilice el punto como separador decimal (p. e. 3.1416).

## ESTRUCTURA GENERAL

**Título:** debe ser conciso pero informativo y no debe exceder las 15 palabras. Tamaño de letra: 14 puntos; fuente: mayúscula sostenida, negrita; alineación: centrado. Debe incluir una versión en español y otra en inglés.

**Autor(res):** deben incluir los datos completos de los autores: nombre completo (nombres y luego los apellidos), afiliación o institución de procedencia, Open Researcher and Contributor ID (Identificador ORCID) y el correo electrónico. Si existe más de un autor, serán separados por coma e identificado con número en superíndice (ver plantilla).

**Resumen:** incluye el objetivo principal del estudio, metodología o procedimientos de forma sucinta, instrumentos de recolección de datos y los resultados más importantes. Deberán destacarse los aspectos más novedosos y relevantes del trabajo. Tamaño máximo de 250 palabras. Debe presentar una versión en español e inglés; tamaño de letra: 10 puntos; interlineado: sencillo

**Palabras clave:** mínimo tres y máximo cinco. Deben ser acorde al contenido del tema del trabajo. No se deben incluir palabras previamente incluidas en el título del manuscrito. Deben presentarse en inglés y español, organizadas alfabéticamente.

**Introducción:** en esta sección, el autor deberá señalar el contexto científico abordado, así mismo, planteará el objetivo o propósito de la investigación presentada, al final señalará la relevancia del abordaje, señalando el planteamiento o selección problemática, así como su justificación, dando una visión general de la misma.

**Materiales y métodos:** describa detalladamente todos los procedimientos utilizados. Incluya las referencias bibliográficas donde hayan descrito originalmente la metodología utilizada, los análisis estadísticos y/o los paquetes de software empleados durante el desarrollo de su investigación. Toda metodología modificada, obtenida de una investigación previa, tiene que ser citada y, además, se debe describir y justificar detalladamente los cambios realizados. Adicionalmente, trate de mencionar todos los reactivos y aparatos utilizados (incluir el nombre del fabricante y el país de origen).

**Resultados:** en esta parte del manuscrito, el autor presentará los datos o hallazgos logrados; para su presentación, se podrán apoyar de tablas y figuras que ayuden a su exposición.

**Discusión:** en esta sección del manuscrito el autor debe destacar los aspectos novedosos e importantes del estudio. Adicionalmente, el autor puede comparar sus resultados con otros estudios similares o se pueden proponer nuevas hipótesis debidamente justificadas.

**Conclusiones:** debe incluirse un párrafo con las conclusiones las cuales deben estar vinculadas a los objetivos propuestos en la introducción.

**Material Suplementario:** Los siguientes están disponibles en línea en [www.xxxxxxxx.com](http://www.xxxxxxxx.com), Figura S1: título, Tabla S1: título, Video S1: título.

Contribución de los Autores: Para los artículos de investigación con varios autores, se debe proporcionar un breve párrafo que especifique sus contribuciones individuales. Se deben utilizar las siguientes declaraciones: "Conceptualización, X.X. e Y.Y.; metodología, X.X.; software, X.X.; validación, X.X., Y.Y. y Z.Z.; análisis formal, X.X.; investigación, X.X.; recursos, X.X.; curación de datos, X.X.; redacción — preparación del borrador original, X.X.; redacción — revisión y edición, X.X.; visualización, X.X.; supervisión, X.X.; administración de proyectos, X.X.; adquisición de financiación, Y.Y. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito ". Consulte la

taxonomía CRediT para ver la explicación del término. La autoría debe limitarse a aquellos que hayan contribuido sustancialmente al trabajo informado.

**Financiamiento:** Agregue: “Esta investigación no recibió financiamiento externo” o “Esta investigación fue financiada por NAME OF FUNDER, subvención número XXX” y “El APC fue financiado por XXX”. Verifique cuidadosamente que los detalles proporcionados sean precisos y utilice la ortografía estándar de los nombres de las agencias de financiación en <https://search.crossref.org/funding>. Cualquier error puede afectar su financiación futura.

**Declaración de la Junta de Revisión Institucional:** En esta sección, agregue la Declaración de la Junta de Revisión Institucional y el número de aprobación para estudios que involucren a seres humanos o animales. Tenga en cuenta que la Oficina Editorial puede solicitarle más información. Añada "El estudio se realizó de acuerdo con las directrices de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional (o Comité de Ética) de NOMBRE DEL INSTITUTO (código de protocolo XXX y fecha de aprobación)". O "Se renunció a la revisión y aprobación éticas para este estudio, debido al MOTIVO (proporcione una justificación detallada)". O "No aplica". para estudios que no involucren humanos o animales. También puede optar por excluir esta declaración si el estudio no involucró a humanos o animales.

**Agradecimientos:** En esta última sección, el autor podrá manifestar, si lo considera pertinente, su agradecimiento. Debe mencionar las fuentes de financiación y/o apoyos recibidos para la ejecución del proyecto o culminación del estudio (ejemplo equipo para experimentos). Evite títulos como Dr., Lic., Ing., Mgtr., etc. Esta sección no podrá excederse de un párrafo, siendo normado entre 4 y 9 líneas.

**Conflictos de Intereses:** Declare conflictos de intereses o declare "Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses". Los autores deben identificar y declarar cualquier circunstancia o interés personal que pueda percibirse como una influencia inapropiada en la representación o interpretación de los resultados de la investigación informados. Cualquier rol de los financiadores en el diseño del estudio; en la recopilación, análisis o interpretación de datos; en la redacción del manuscrito, o en la decisión de publicar los resultados deben declararse en este apartado. Si no hay ningún papel, indique “Los patrocinadores no tuvieron ningún papel en el diseño del estudio; en la recopilación, análisis o interpretación de datos; en la redacción del manuscrito, o en la decisión de publicar los “resultados”.

**Referencias:** En esta sección se enlistarán todas las referencias citadas a lo largo del manuscrito, las cuales se registrarán acorde a las Normas del **sistema American Psychological Association APA** (ver más abajo).

### SOBRE LAS CITAS BIBLIOGRÁFICAS

Con el fin de normalizar el uso de las citas dentro de los artículos presentados por los autores, la Revista **SCIENTIA** se acoge a las normas de estilo del **sistema American Psychological Association (APA)**; de allí se dan las siguientes recomendaciones para escribir las citas a lo largo del manuscrito:

**Un autor:** Croat (1986) o (Croat, 1986)

**Dos autores:** Medianero y Barrios (1994) o (Medianero y Barrios, 1994). Para vincular los apellidos de dos autores, para artículos en español debe utilizar “y”. En el caso de los manuscritos en inglés, en su lugar, debe usar “and”. Esto aplica tanto para las citas como para las referencias.

**Más de dos autores:** Figueroa et al. (1981) o (Figueroa et al., 1981). Debe colocar únicamente el apellido del primer autor y posteriormente “et al.”.

En el caso que se incluyan varias citas que soporten una idea, estas deben organizarse de manera cronológica (cada una separada por punto y coma), p.e. (Figueroa et al., 1981; Croat, 1886; Medianero y Barrios, 1994; Gupta 2021). Para aquellas citas que tengan el mismo año y autor, se deben identificar utilizando letras en minúsculas (a, b, c, etc.), p.e. (Gupta, 1997, 2021a, 2021b). En estos casos, las citas referidas con letras deben ser congruentes con la sección de referencias.

### SOBRE LAS REFERENCIAS

Todas las referencias incluidas deben ser organizadas alfabéticamente, utilizando las normas de estilo del **sistema APA, 7ª edición** (<https://apastyle.apa.org/>). Con el objetivo de ayudar a la normalización del documento, las referencias citadas deberán contar con las siguientes características generales:

**Artículo científico:**

Autor, A. A. y Autor, B. B. (Año). Título. Revista, volumen(número): páginas. DOI (si aplica)  
Ejemplo:

Zuluaga, A. y Cameron, K. M. (2018). Two new species of *Monstera* (Araceae: Monsteroideae) with entire leaves from Panama and Costa Rica. *Phytotaxa*, 334(1): 1-9. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.334.1.1>

**Libros:**

Autor, A. A. y Autor, B. B. (Año). Título del libro. Editorial. DOI (si aplica)

Ejemplo:

Croat, T. B. (1978). *Flora of Barro Colorado Island*. Stanford University Press.

**Capítulo de libro:**

Autor, A. A. y Autor, B. B. (Año). Título del capítulo. En A. Editor y B. Editor (eds.), Título del libro (pp. páginas del capítulo). Editorial. DOI (si aplica)

Ejemplo:

Osses, S. L. y Valderrama, C. E. (2016). Producción de sentidos en radios comunitarias en Bogotá y Cundinamarca. En N. Cabra & M. Escobar (eds.), *Tramas de sociedad. Miradas contemporáneas* (pp. 144-167). Universidad Central.

**Tesis:**

Autor, A. A. y Autor, B. B. (Año). Título de la tesis [tipo de grado, nombre institución que otorga grado]. DOI (si aplica)

Ejemplo:

León, A. (2002). *Estructura Económica de Panamá* [tesis de doctorado, Universidad de Londres].

**Conferencias y presentaciones:**

Presentador, A. A. y Presentador, B. B. (Año). Título de la contribución. Conferencia, ubicación. DOI (si aplica)

Ejemplo:

Aguiar, S., Texeira, M., Garibaldi, L. y Jobbágy, E. (2018). Diversidad de la producción, consumo e intercambio global de cultivos: los barcos más que el campo diversifican nuestras dietas. XXVIII Reunión Argentina de Ecología, Mar del Plata, Argentina. <https://bit.ly/38j7S8L>

**Páginas web:**

Autor, A. A. y Autor, B. B. (Año). Título del contenido. Consultado el \*fecha\*. <http://xxxxx>\*

**Ejemplos:**

Boyce, P. C. y Croat, T. B. (2018). The Überlist of Araceae: totals for published and estimated number of species in Aroid Genera. Consultado el 7 de marzo de 2018.

<http://www.aroid.org/genera/180211uberlist.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2020). Proteger el derecho a la infancia. Consultado el 2 de marzo de 2021. <https://bit.ly/2NYBK0R>

**SOBRE LAS FIGURAS Y TABLAS**

Todas las ilustraciones, incluyendo fotos, diagramas, mapas y gráficas, se catalogan como figuras. Estas deben ser insertadas en el documento ubicadas a discreción del autor. Adicionalmente, las figuras originales en alta calidad (resolución mínima de 300 dpi) deben ser enviadas aparte utilizando los formatos de imagen jpg o tiff. Para versión en línea los autores dispondrán en sus artículos figuras a color y su publicación no tendrá ningún costo, sin embargo, la versión impresa será blanco y negro.

Los títulos y explicaciones de las figuras deben ser incluidas en las leyendas (pie de figura) y no insertadas en las tablas o figuras. Los autores deben evitar a toda costa utilizar aplicación para hacer degradación de color, sombreados y fondos. Las figuras compuestas, que incluyen varios elementos o ítems en una misma figura, deben ser rotuladas utilizando letras en mayúsculas (A, B, C, etc.) y deben ser referidas en el texto de manera congruente (Figura 1A, Figura 1B, etc.). En este sentido, dichos elementos deben estar acompañados de su respectiva leyenda en el pie de figura. Si un manuscrito presenta tablas o figuras reproducidas de otros trabajos, es obligatorio mencionar el autor original y declarar el permiso para utilizarlas.

En el caso de las tablas, deben utilizarse siempre y cuando los datos no se puedan incorporar adecuadamente en el texto. Al igual que en el caso de las figuras, los autores deben evitar a toda costa utilizar aplicación para hacer degradación de color, sombreados y fondos. Las tablas se enumerarán consecutivamente y se referirán en esa misma secuencia a lo largo del manuscrito. El encabezado de cada tabla se incluirá en la parte superior. Las tablas no deben tener líneas verticales y el diseño no debe rebasar los márgenes de la página.

## ÍNDICE

EDITORIAL.....	20
IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE DOSIS PARA EL IRRADIADOR PRECLÍNICO X-RAD 320.....	21
EVALUACIÓN DOSIMÉTRICA DEBIDO AL CAMBIO DE ENERGÍA EN FANTOMAS HETEROGÉNEOS.....	38
DIEZ AÑOS DE MONITOREO DE SUPERVIVENCIA INVERNAL MOSI EN EL PARQUE NACIONAL CHAGRES, COLÓN, PANAMÁ.....	62
ASPECTOS RELEVANTES DE LEISHMANIAVIRUS EN AISLADOS DE <i>Leishmania</i> spp.....	85
ADAPTACIÓN Y MECANISMO DE LA GLÁNDULA SALINA EN AVES MARINAS.....	97
DISTRIBUCIÓN DE <i>PELECINUS POLYTURATOR</i> (DRURY, 1773) (HYMENOPTERA: PROCTOTRUPOIDEA: PELECINIDAE) EN LA REGIÓN OCCIDENTAL, PANAMÁ.....	115
SISTEMAS DE INFORMACIÓN BIOINFORMÁTICA: DESAFÍOS QUE DEJA LA PANDEMIA DEL COVID-19 EN PANAMÁ.....	126
INCIDENCIA DE ELASMOBRANQUIOS EN LA PESCA ARTESANAL EN LOS GOLFOS DE CHIRIQUÍ Y MONTIJO, PACÍFICO PANAMEÑO.....	144

## 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.

Este primer fascículo del 2023 presenta a la comunidad científica (investigadores profesores, estudiantes y profesionales consumados), ocho artículos inéditos producto del trabajo investigativo y del compromiso académico de sus autores. En consecuencia, el legado de esta entrega ofrece dos valiosos aportes en el campo de la Física, los cuales discuten, en primera instancia, el desarrollo de una herramienta de cálculo para el irradiador preclínico X-RAD 320; y el impacto del efecto dosimétrico en órganos de roedores. También contempla los resultados de una década de investigación a través de un significativo estudio de Ornitología llevado a cabo en el Parque Nacional Chagres; asimismo contiene tres artículos de revisión científica – académica, uno referente al panorama histórico e inmunológico de Leishmaniavirus, otro, resalta la importancia de las glándulas salinas en aves marinas, y el último pondera la importancia de la Bioinformática como herramienta científica para procesar y generar información en salud pública. Además, incluye un estudio de entomología que actualiza la distribución conocida de *Pelecinus polyturator* en la región occidental de Panamá; y finalmente, contiene un detallado estudio de Biología Marina que correlaciona el impacto de diferentes artes utilizadas en la pesca artesanal, sobre los tiburones y rayas en los golfos de Chiriquí y Montijo, en el Pacífico panameño.

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 nuestro compromiso con la difusión de la ciencia en nuestro país.

**Dr. Jaime Rivera**  
**Editor Jefe**

## IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE DOSIS PARA EL IRRADIADOR PRECLÍNICO X-RAD 320.

## IMPLEMENTATION OF A DOSE CALCULATION TOOL FOR THE PRECLINICAL IRRADIATOR X-RAD 320.

Luis E. Emiliani <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Escuela de Física.  
Panamá

Correo: [luisemiliani02@gmail.com](mailto:luisemiliani02@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-4876-1592>.

**Recepción**

24-08-2022

**Aprobación**

15-11-2022

### Resumen

Se desarrolló una herramienta que facilita la determinación de la dosis absorbida en agua en condiciones de referencia (DOSAB) y una herramienta de cálculo de dosis (DOSREL) para el irradiador preclínico X-RAD 320 a partir de simulaciones Monte Carlo utilizando el código DOSXYZnrc a partir de una fuente puntual de radiación isotrópica que emite espectros de energía generados con el programa SpekCalc. Esta herramienta puede calcular la dosis en el eje central de radiación y fuera del eje para diferentes calidades de haz y entre tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 15 x 15 cm<sup>2</sup>, para condiciones simuladas y no simuladas. También se compararon las dosis relativas en profundidad y los perfiles de dosis relativa para las simulaciones MC y las calculadas por interpolación lineal para tamaños de campo de 5 x 5 y 7 x 7 cm<sup>2</sup> y calidades de haz de 300 y 71 kVp y los resultados mostraron una buena concordancia entre ambos, por lo tanto, el método de interpolación lineal implementado para tamaños de campo intermedios a los simulados quedó validado.

**Palabras Clave:** Física Médica, método de Monte Carlo, dosimetría de kilovoltaje.

### Abstract

A tool was developed that facilitates the determination of the absorbed dose in water under reference conditions (DOSAB) and a dose calculation tool (DOSREL) for the X-RAD 320 preclinical irradiator from Monte Carlo simulations using the DOSXYZnrc code a starting from a point source of isotropic radiation that emits energy spectra generated with the SpekCalc program. This tool can calculate the dose in the central radiation axis and off the axis for different beam qualities and between field sizes of 0.5 x 0.5 and 15 x 15 cm<sup>2</sup>, for simulated and non-simulated conditions. Relative depth doses and relative dose profiles were also compared for MC simulations and those calculated by linear interpolation for field sizes of 5 x 5 and 7 x 7 cm<sup>2</sup> and beam qualities of 300 and 71 kVp and the results shown. a good concordance between both, therefore, the linear interpolation method implemented for intermediate field sizes to those simulated was validated.

**Keywords:** Medical Physics, Monte Carlo method, kilovoltage dosimetry.

## Introducción

El objetivo principal de este estudio es desarrollar una herramienta de cálculo de distribuciones de dosis para condiciones simuladas y no simuladas para el irradiador preclínico X-RAD 320 utilizando una serie de simulaciones Monte Carlo calculadas en Emiliani (2021) en un fantoma de agua homogéneo. También se busca diseñar una herramienta que facilite la calibración de la dosis en condiciones de referencia y a partir de esta dosis absoluta se pueda tener la dosis en el eje central y fuera del eje para tamaños de campo entre  $0,5 \times 0,5 - 15 \times 15 \text{ cm}^2$ .

Existen diversos protocolos para dosimetría de rayos X en kilovoltaje, promovidos por organizaciones como: AAPM (*American Association of Physicists in Medicine*) (Ma et al., 2001), IPEMB (*Institute of Physics and Engineering in Medicine and Biology*) (Klevenhagen et al., 1996), e IAEA (*International Atomic Energy Agency*) (IAEA, 2005). Ninguno a priori es mejor que otro y la elección particular podría deberse a la disponibilidad de los factores necesarios para su aplicación, de acuerdo con el espectro de energía, condiciones de referencia, detectores, entre otros. En este trabajo se escogió el protocolo de la AAPM para la medición de la dosis absoluta debido a que contamos con las cámaras de ionización calibradas en términos de kerma en aire y los factores de corrección necesarios para la aplicación de este.

La capa hemireductora o HVL por sus siglas en inglés, se define como el espesor requerido de un material para reducir la exposición a la mitad, en una geometría de haz estrecho. El espesor del material es generalmente aluminio de alta pureza (99,9%) para tensiones de tubo (kVp) de hasta aproximadamente 120 kV y de cobre de alta pureza (99,9%) para energías más altas, de hasta 400 kV.

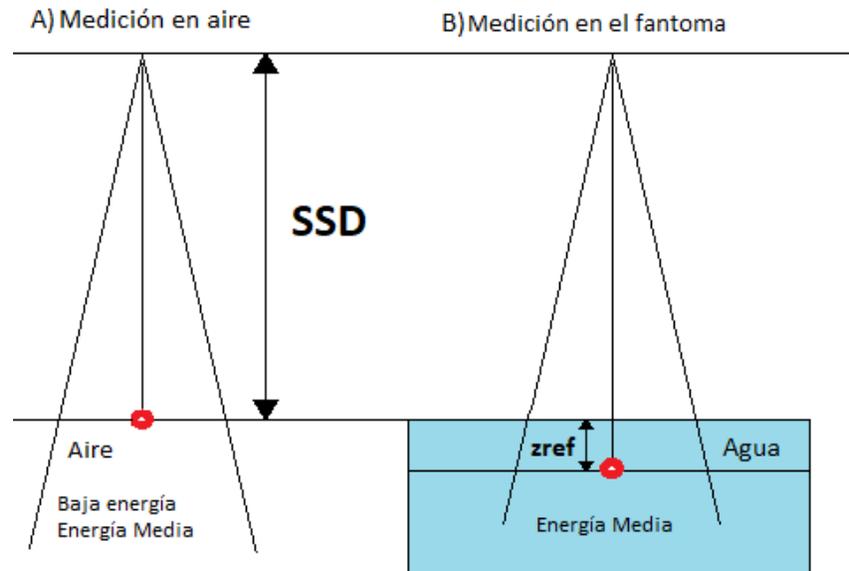
Diferentes espectros pueden tener el mismo HVL (Attix, 2004) y, por lo tanto, es preferible combinar HVL con kVp como especificador de haz. Más aún, debido a la diferente filtración, geometría, colimación, ángulo del blanco, etc., no siempre basta con el kVp y HVL para la especificación completa del haz. Por ello se define el  $HVL_2$  como el espesor del absorbente adicional al  $HVL_1$  para reducir la exposición

en aire, nuevamente a la mitad (25% de la exposición inicial) y el coeficiente de homogeneidad se define como  $HC = HVL_1 / HVL_2$ . Con estos valores ( $HVL_1$ , kVp y HC) se obtiene una especificación de la calidad del haz más precisa.

A continuación, se describe en mayor detalle el protocolo de la AAPM, pues es el implementado en nuestra herramienta de cálculo de dosis. Este protocolo se ocupa de la dosimetría absoluta para rayos X de kilovoltaje (tensión de tubo: 40 - 300 kV) para aplicaciones de radioterapia y radiobiología. Es un protocolo basado en el conocimiento del factor de calibración en unidades de kerma en aire de una cámara de ionización. Este protocolo no utiliza el HVL para clasificar los rangos de energía, se clasifican mediante el kVp de cada haz.

Para rayos X de baja energía ( $40 \text{ kV} \geq \text{tensión de tubo} \leq 100 \text{ kV}$ ), la dosimetría de referencia se realizará libre en aire y se utilizará un factor de retrodispersión para tener en cuenta el efecto de la dispersión en el fantoma. Para rayos X de energía media (tensión de tubo superior a 100 kV), se pueden usar dos formalismos diferentes, pero mutuamente consistentes. Si el punto de interés está en la superficie fantoma ( $z_{\text{ref}} = 0$ ), la medición se realizará en aire y se utilizará un factor de retrodispersión para tener en cuenta el efecto de la dispersión en el fantoma (el método en el aire). Si el punto de interés está a una profundidad en el agua, la medición se realizará a la profundidad de referencia ( $z_{\text{ref}} = 2 \text{ cm}$ ) en un fantoma de agua, considerando un factor de corrección dependiente de la cámara (y una corrección de caperuza impermeable si corresponde).

Las configuraciones de referencia para este protocolo se muestran en la figura 1.



**Figura 1.** Configuraciones para realizar dosimetría absoluta en condiciones de referencia utilizando el protocolo TG-61 para baja energía (A) o energía media (A y B).

### **Medición en aire: dosis absorbida en agua en la superficie para rayos X de baja y media energía ( $40 \text{ kV} \leq \text{Tensión de tubo} \leq 300 \text{ kV}$ )**

Para utilizar el método de medición en aire para un haz de rayos X de baja y media energía (40 - 300 kV), la profundidad de referencia para la determinación de la dosis absorbida en agua está en la superficie del fantoma ( $z_{\text{ref}} = 0$ ). Al igual que en el protocolo TRS-398, el formalismo para energía baja y media es el mismo. Para el TG-61 el cálculo de dosis absorbida en agua en la superficie,  $D_{w,z=0}$ , se realiza de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D_{w,z=0} = MN_K B_w P_{stem.air} \left[ \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{air}^w \right]_{air} \quad (1)$$

Donde  $M$  es la lectura de la cámara libre en el aire corregida por temperatura y presión, recombinación de iones, efecto de polaridad y corrección del

electrómetro;  $N_K$  el factor de calibración de kerma en aire para la calidad del haz dado;  $B_w$  es el factor de retrodispersión que explica el efecto de la dispersión en el fantoma;  $P_{stem,air}$  es el factor de corrección del tallo de la cámara que representa el cambio en la dispersión de fotones desde el tallo de la cámara entre la calibración y la medición (principalmente debido al cambio en el tamaño del campo), y  $\left[ \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{air}^w \right]_{air}$  es la razón de los coeficientes másicos de absorción de energía, de agua a aire, promediada sobre el espectro de energía de los fotones incidentes.

### **Medición en fantoma: dosis absorbida en agua a 2 cm de profundidad para rayos X de energía media (100 kV < Tensión de tubo ≤ 300 kV)**

Este protocolo adopta una profundidad de referencia de 2 cm, tal que haya suficiente material para cubrir la cámara sin disminuir excesivamente la señal. La dosis absorbida en agua a una profundidad de referencia de 2 cm ( $z_{ref} = 2$  cm),  $D_{w,z=2}$ , se determina utilizando

$$D_{w,z=2} = MN_K P_{Q,champ} P_{sheath} \left[ \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{air}^w \right]_{w} \quad (2)$$

Donde  $M$  es la lectura de la cámara a una profundidad de referencia ( $z_{ref} = 2$  cm) corregida por temperatura, presión, recombinación de iones y efecto de polaridad,  $P_{Q,champ}$  es el factor de corrección general de la cámara que explica el cambio en la respuesta de la cámara debido al desplazamiento del agua por la cámara de ionización (cavidad de aire más pared) y la presencia del tallo de la cámara, el cambio en la energía y la distribución angular del haz de fotones en el espectro en comparación con el utilizado para la calibración en el aire.  $P_{sheath}$  es la corrección para la absorción y dispersión de fotones en la caperuza impermeable (si está presente) y  $\left[ \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)_{air}^w \right]_{w}$  es la razón de los coeficientes másicos de absorción de energía, de agua a aire, promediada sobre el espectro de fotones en el punto de referencia en agua en ausencia de la cámara.

## Materiales y métodos

### 1. Herramienta para la determinación de la dosis en agua en condiciones de referencia

Se diseñó una interfaz gráfica de usuario (GUI) denominada DOSAB para el cálculo de la dosis absorbida en agua para condiciones de referencia recomendadas por el TG-61 usando Matlab (versión R2019a actualización 9). DOSAB permite calcular la dosis de calibración de forma automática, a partir de las medidas realizadas por la cámara de ionización calibrada, en las condiciones que se haya establecido como referencia, siguiendo el protocolo TG-61 de la AAPM.

DOSAB ofrece diferentes parámetros de entrada necesarios para calcular la dosis de calibración como la elección del método de calibración (método de medición en aire para baja y media energía, y el método de medición en agua para energía media), así como el HVL (mm Al o mm Cu), lado de tamaño de campo cuadrado o radio de tamaño de campo circular (cm), SSD (cm), potencial de tubo, corriente de tubo (mA), tiempo de irradiación, temperatura y presión de medición ( $^{\circ}\text{C}$  y kPa respectivamente), lecturas de la cámara con polaridad positiva y negativa (nC), lecturas de la cámara con voltaje de colección  $V_{\text{Low}}$  (nC), y polaridad de referencia. DOSAB utiliza los factores de calibración disponibles para las cámaras de ionización cilíndrica FC65-G (IBA) y la plano paralela N23344 (PTW) para el cálculo de la dosis (ver tabla 1).

**Tabla 1.** Factores de calibración proporcionados por el laboratorio de patrón secundario *Medical Radiation Research Center* de la Universidad de Wisconsin.

Cámara de ionización	Calidad de haz	Coefficiente de calibración de kerma en aire (Gy/C)	Coefficiente de calibración de exposición (R/C)	HVL (mm Al)
FC65-G	UW120-M	$4,519 \times 10^7$	$5,159 \times 10^9$	6,77
FC65-G	UW60-M	$4,595 \times 10^7$	$5,245 \times 10^9$	1,68
N23344	UW60-M	$7,600 \times 10^7$	$8,676 \times 10^9$	1,68

## 2. Herramienta de cálculo de dosis para tamaños de campo cuadrados

En la tabla 2 se muestra un resumen detallado de las calidades de haz utilizadas para implementarlas en la herramienta de cálculo de dosis (Emiliani, 2021).

**Tabla 2.** Espectros de energía simulados para diferentes calidades de haz.

kVp	Filtración	Energía promedio (keV)	HVL <sub>1</sub>	HC
300	1,5 mm Al + 0,25 mm Cu + 0,75 mm Sn	152	3,56 mm Cu	0,841
225	2,0 mm Al	71,9	0,373 mm Cu	0,334
105	(2,0 + 3,0) mm Al	54	0,196 mm Cu	0,708
71	2,0 mm Al	38	1,92 mm Al	0,654
50	2,0 mm Al	31,2	1,46 mm Al	0,723

Se ha diseñado una GUI denominada DOSREL para generar datos de dosis en profundidad y perfiles para las calidades de haz simuladas, para cualquier tamaño de campo y profundidades dentro de los rangos simulados (para tamaños de campo entre  $0,5 \times 0,5 - 15 \times 15 \text{ cm}^2$  y profundidades entre  $0 - 20,9 \text{ cm}$ ) usando Matlab (versión R2019a actualización 9). DOSREL hace uso de una serie de

matrices de dosis 3D en formato .3ddose obtenidas a partir de simulaciones Monte Carlo para las calidades de haz mostradas en la tabla 2, las mismas que fueron extraídas de Emiliani (2021).

Estos datos se muestran en dosis absoluta pues hace uso del archivo de calibración y del tiempo de irradiación requeridos. DOSREL hace uso de la base de datos de simulaciones MC para diferentes calidades de haz y tamaños de campo simulados. La incertidumbre relativa de la dosis de calibración es de 3,6 % según el TG-61 (Ma et al., 2001). DOSREL muestra la incertidumbre relativa combinada asociada a las incertidumbres relativas de calibración y de simulaciones MC. Las matrices de corrección por el efecto talón se aplican a DOSREL.

DOSREL ofrece la opción de guardar en un archivo .x/sx la dosis relativa en profundidad (normalizada a la profundidad de calibración) y el perfil generado en cada simulación. Para tamaños de campo y/o profundidades no simuladas se realiza una interpolación entre tamaños de campo y/o profundidades disponibles.

La dosis en profundidad en el eje central se calcula con la siguiente ecuación:

$$D(FS, d, 0) = D_0(FS_0, d_0) \cdot OF(FS, d_0) \cdot \frac{PDD(FS, d)}{PDD(FS, d_0)} \quad (3)$$

Mientras que la dosis fuera del eje se calcula del siguiente modo:

$$D(FS, d, x) = D(FS, d, 0) * OAR(FS, d, x) \quad (4)$$

En donde  $D(FS, d, 0)$  es la dosis en profundidad en el eje central para un tamaño de campo  $FS$  y una profundidad  $d$ ,  $D_0(FS_0, d_0)$  es la dosis de calibración en condiciones de referencia (tamaño de campo de referencia  $FS_0$  y profundidad de calibración  $d_0$  (cm)),  $OF(FS, d_0)$  es el *output factor* para un tamaño de campo  $FS$  y una profundidad de calibración  $d_0$ ,  $PDD(FS, d)$  es la dosis relativa en profundidad para un tamaño de campo  $FS$  y una profundidad  $d$ ,  $PDD(FS_0, d_0)$  es la dosis relativa

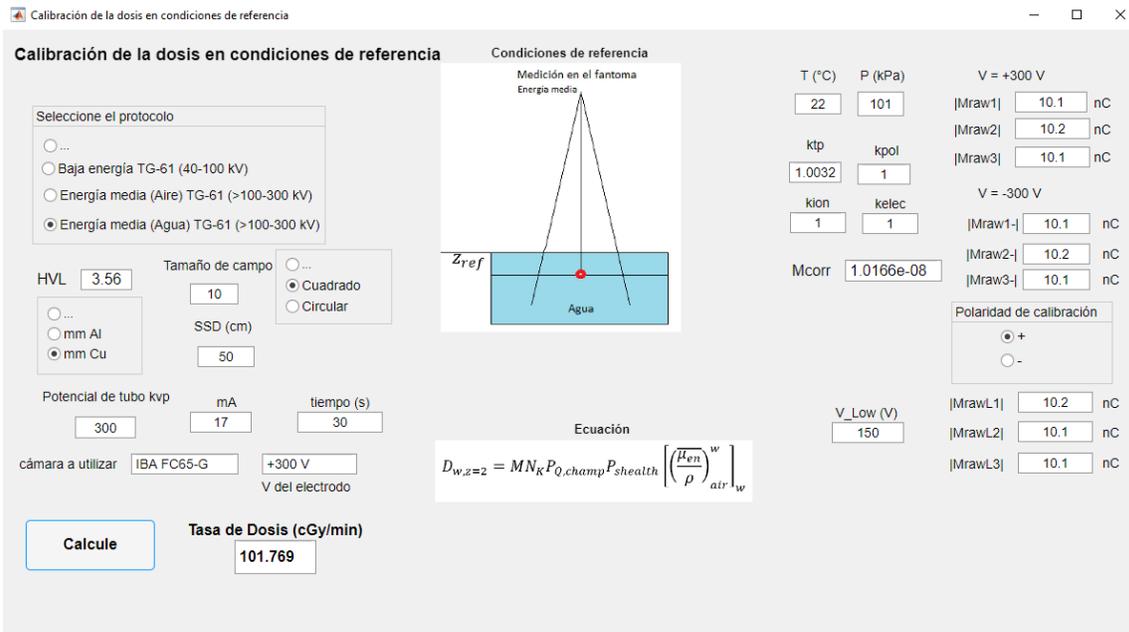
en profundidad para un tamaño de campo  $FS$  y la profundidad de calibración  $d_0$ ,  $D(FS, d, x)$  es la dosis fuera del eje a una profundidad  $d$  (cm) y un tamaño de campo  $FS$ , y  $OAR(FS, d, x)$  es el factor que determina el cambio relativo de la dosis fuera del eje para un tamaño de campo  $FS$ , una profundidad  $d$  (cm) y una posición en  $x$  (cm).

Para corroborar la validez de la interpolación lineal entre tamaños de campo se simuló matrices de dosis para tamaños de campo adicionales de  $5 \times 5$  y  $7 \times 7$  cm<sup>2</sup> para calidades de haz de 300 y 71 kVp en los cuales se busca comparar las dosis relativas en profundidad y perfiles de dosis relativa a diferentes profundidades.

## Resultados

### 1. Herramienta para la determinación de la dosis en agua en condiciones de referencia

En la figura 2 se muestra la interfaz gráfica DOSAB que permite el cálculo de la dosis en agua en condiciones de referencia (con un tamaño de campo de  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> y con una SSD = 50 cm) implementando el protocolo TG-61 de la AAPM. La profundidad de calibración depende del método empleado y rango de energía y puede ser en superficie (0 cm) o a una profundidad de 2 cm.



Calibración de la dosis en condiciones de referencia

Selección del protocolo

...

Baja energía TG-61 (40-100 kV)

Energía media (Aire) TG-61 (>100-300 kV)

Energía media (Agua) TG-61 (>100-300 kV)

HVL: 3.56

Tamaño de campo:  ...  Cuadrado  Circular

SSD (cm): 50

Potencial de tubo kVp: 300

mA: 17

tiempo (s): 30

cámara a utilizar: IBA FC65-G

V del electrodo: +300 V

Condiciones de referencia

Medición en el fantoma

Energía media

Diagrama de configuración: Agua,  $Z_{ref}$

Ecuación

$$D_{w,z=2} = MN_k P_{Q, champ} P_{sheath} \left[ \left( \frac{H_{en}}{p} \right)_{air}^w \right]$$

Parámetros de entrada:

T (°C)	22	P (kPa)	101	V = +300 V
ktp	1.0032	kpol	1	Mraw1
kion	1	kelec	1	Mraw2
Mcorr	1.0166e-08			Mraw3
				V = -300 V
				Mraw1-
				Mraw2-
				Mraw3-
				Polaridad de calibración
				<input checked="" type="radio"/> +
				<input type="radio"/> -
V_Low (V)	150			MrawL1
				MrawL2
				MrawL3

Botón: Calcular

Tasa de Dosis (cGy/min): 101.769

**Figura 2.** Interfaz gráfica de usuario DOSAB para la calibración en dosis absorbida en agua para condiciones de referencia.

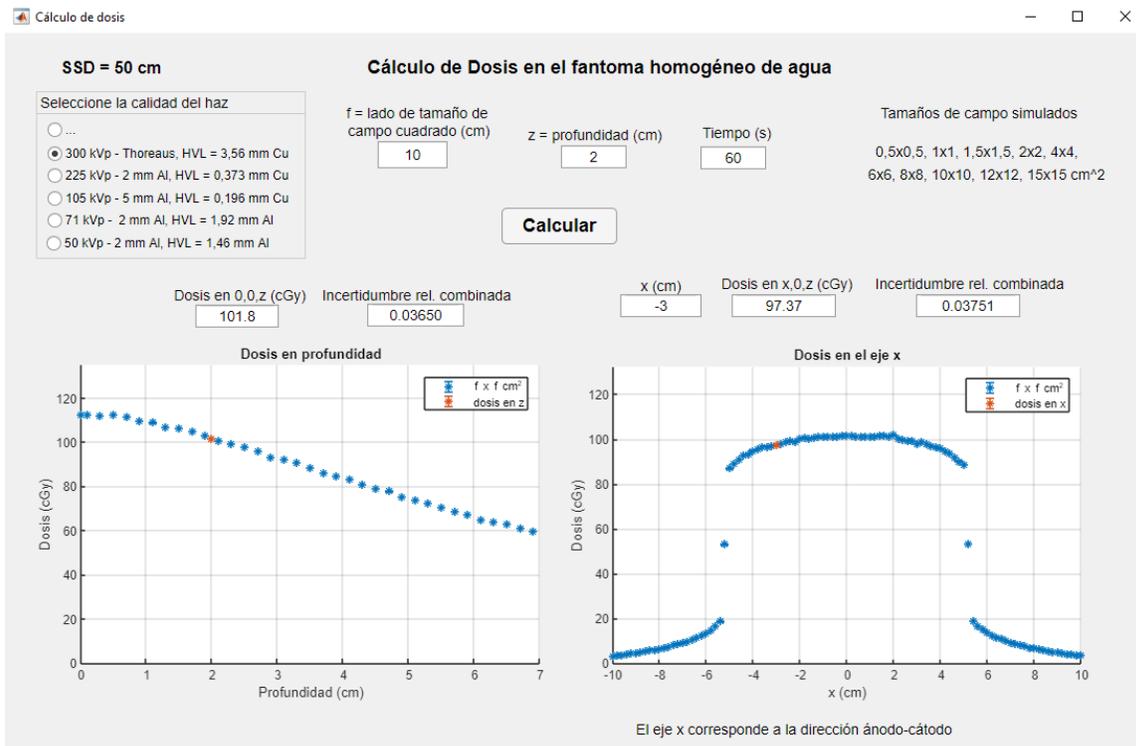
Los parámetros de entrada más relevantes utilizados para el cálculo de la dosis de calibración se guardan en un archivo .x/sx, llamado archivo de calibración el cual almacena los datos de la tabla 3 (los valores que aparecen en la tabla 3 son solo un ejemplo ilustrativo, debido a que no fue posible realizar la calibración del equipo). Dicho archivo se utiliza como entrada para el programa DOSREL.

**Tabla 3.** Ejemplo de los parámetros de calibración de la tasa de dosis para la calidad de haz de 300 kVp.

Tasa de Dosis (cGy/min)	z de Calibración (cm)	kVp	HVL (mm Cu)	SSD (cm)	Lado de tamaño de campo cuadrado (cm)	Fecha y hora	mA	Tiempo (s)
101,769	2	300	3,56	50	10	01/04/2021 11:23	17	30

## 2. Herramienta de cálculo de dosis para tamaños de campo cuadrados

En la figura 3 se muestra la interfaz gráfica DOSREL que permite generar curvas de dosis en profundidad y perfiles de dosis para diferentes calidades de haz y tamaños de campo, también permite estimar la dosis en profundidad y fuera del eje en un punto especificado por el usuario.

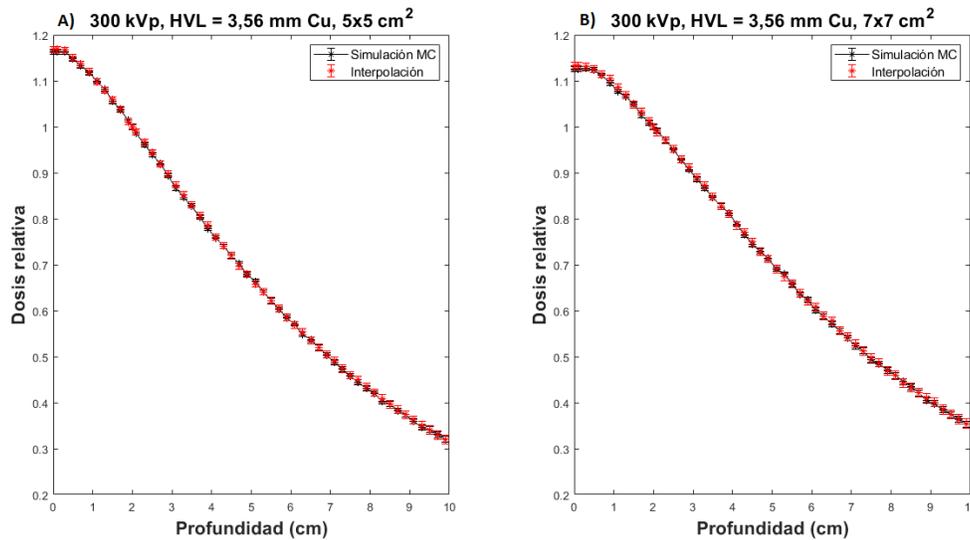


**Figura 3.** Interfaz gráfica de usuario DOSREL para el cálculo de la dosis absorbida en agua para campos cuadrados en el fantoma homogéneo de agua.

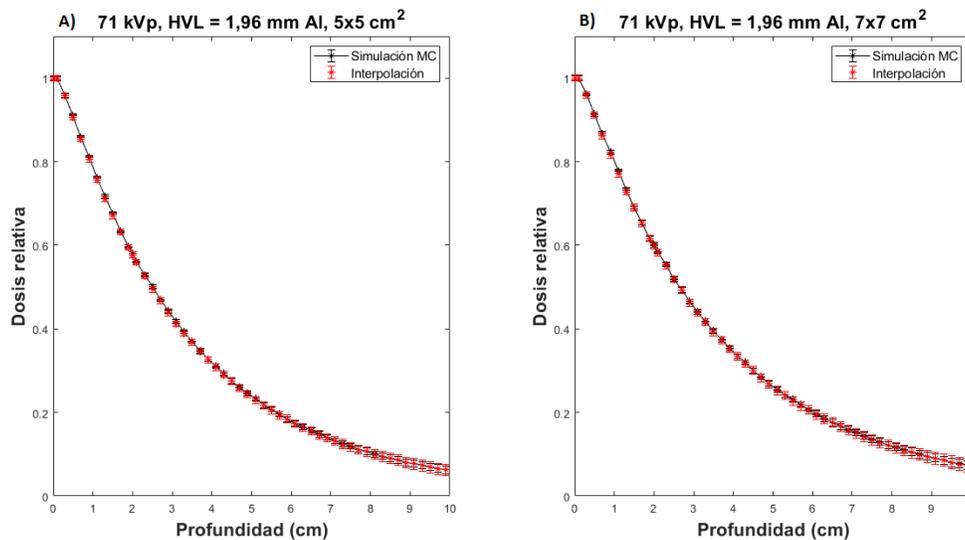
### 2.1 Dosis relativa en profundidad

En las figuras 4 y 5 se muestran los gráficos en donde se comparan las dosis relativas en profundidad a partir de simulaciones MC y calculadas mediante interpolaciones entre los tamaños de campo contiguos para tamaños de campo de 5 x 5 y 7 x 7 cm<sup>2</sup> para calidades de haz de 300 kVp y 71 kVp respectivamente.

**Figura 4.** Dosis relativa en profundidad simuladas con MC (línea negra) y las



calculadas mediante interpolaciones lineales (asterisco rojo) para una calidad de haz de 300 kVp, y un tamaño de campo de A) 5 x 5 cm<sup>2</sup>; B) 7 x 7 cm<sup>2</sup>.



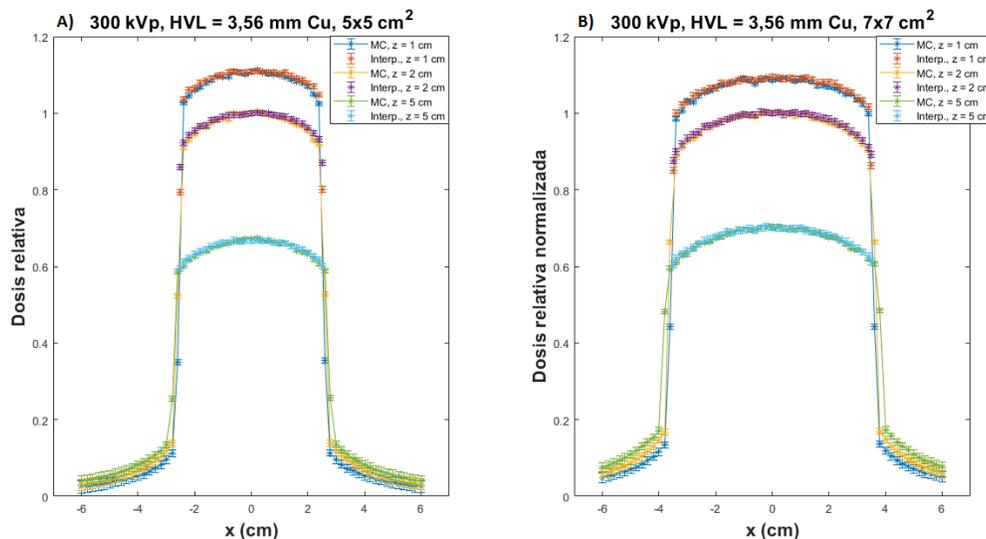
**Figura 5.** Dosis relativa en profundidad simuladas con MC (línea negra) y las calculadas mediante interpolaciones lineales (asterisco rojo) para una calidad de haz de 300 kVp, y un tamaño de campo de A) 5 x 5 cm<sup>2</sup>; B) 7 x 7 cm<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos para las comparaciones de las dosis en profundidad simuladas con MC y las calculadas mediante interpolaciones lineales para una

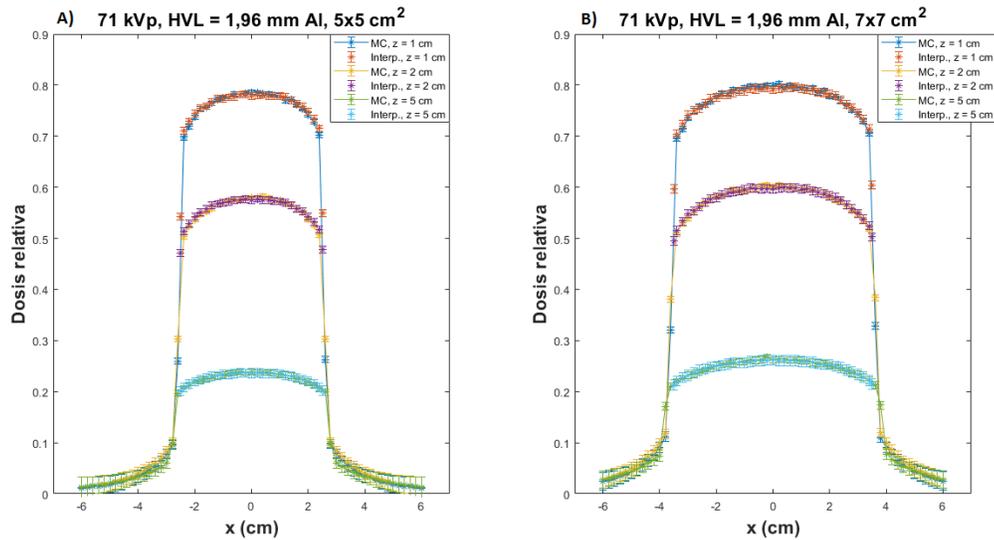
calidad de haz de 300 kVp, se evaluaron las diferencias para profundidades menores a 5 cm y se encontraron diferencias máximas de hasta 0,97 % y 0,90 % para tamaños de campo de 5 x 5 y 7 x 7 cm<sup>2</sup> respectivamente. Mientras que para una calidad de haz de 71 kVp se encontraron diferencias máximas de hasta 1,46 % y 1,05 % para tamaños de campo de 5 x 5 y 7 x 7 cm<sup>2</sup> respectivamente.

## 2.2 Perfiles de dosis relativa

En las figuras 6 y 7 se muestran los gráficos en donde se comparan los perfiles de dosis relativa a partir de simulaciones MC y calculadas mediante interpolaciones entre los tamaños de campo contiguos para tamaños de campo de 5 x 5 y 7 x 7 cm<sup>2</sup> para calidades de haz de 300 kVp y 71 kVp respectivamente.



**Figura 6.** Perfiles de dosis relativa simuladas con MC y calculadas mediante interpolaciones lineales para diferentes profundidades para una calidad de haz de 300 kVp, y un tamaño de campo de A) 5 x 5 cm<sup>2</sup> ; B) 7 x 7 cm<sup>2</sup>.



**Figura 7.** Perfiles de dosis relativa simuladas con MC y calculadas mediante interpolaciones lineales para diferentes profundidades para una calidad de haz de 71 kVp, y un tamaño de campo de A) 5 x 5 cm<sup>2</sup>; B) 7 x 7 cm<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos para las comparaciones de los perfiles de dosis relativa simuladas con MC y las calculadas mediante interpolaciones lineales para una calidad de haz de 300 kVp para diferentes profundidades, se evaluaron las diferencias en el eje central de radiación y se encontraron diferencias máximas de hasta 1,22 % y 1,64 % para tamaños de campo de 5 x 5 y 7 x 7 cm<sup>2</sup> respectivamente. Mientras que para una calidad de haz de 71 kVp se encontraron diferencias máximas de hasta 1,62 % y 2,16 % respectivamente.

### Discusión

La herramienta DOSAB que facilita la calibración de la dosis en condiciones de referencia agiliza proceso de cálculo de dosis. Debido a que no se pudo medir la dosis absoluta en nuestro trabajo, se realizó una calibración virtual que representa el valor que tendría dadas la energía y condiciones de referencia (la tasa de dosis presentada en este trabajo no corresponde a una medición real sino a una estimación que solo sirve para ejemplificar cómo funciona DOSREL).

Por otra parte, el desarrollo de DOSREL permite obtener la dosis en el eje central y fuera del eje para 5 calidades de haz en el rango de bajas y medias energías presentadas en la tabla 2 y para tamaños de campo variable entre  $0,5 \times 0,5$  y  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ .

Las curvas de dosis en profundidad y perfiles de dosis relativa para las calidades de haz de 300 y 71 kVp presentan buena correlación con diferencias porcentuales menores al 2,16 % y estas se encuentran dentro de las incertidumbres relativas asociadas a las simulaciones MC y los cálculos de las interpolaciones lineales, por lo tanto, el método empleado para las interpolaciones realizadas en este trabajo queda validado.

### Conclusión

Se describió una herramienta para facilitar la calibración de la dosis en condiciones de referencia (DOSAB) y una herramienta de cálculo de dosis absorbida en agua en tamaños de campo cuadrado (DOSREL) haces de rayos X producidos por el irradiador X-RAD 320 a partir de simulaciones MC. Se simularon diferentes calidades de haz y tamaños de campo variable entre  $0,5 \times 0,5$  hasta  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ . El método de interpolaciones lineales entre tamaños de campo no simulados presento buenos resultados teniendo una buena concordancia con las simulaciones para calidades de haz de 300 y 71 kVp. Es importante recalcar que esta es una primera etapa para desarrollar un planificador de tratamientos de haces de kV, ya que, solamente hace los cálculos en condiciones homogéneas. En Chow and Leung (2008) si cuentan con una herramienta de cálculo de dosis que se acerca bastante a un planificador para haces de kV, ellos desarrollaron un programa con una interfaz gráfica de usuario (GUI por sus siglas en inglés) para el cálculo de las distribuciones de dosis 3D mediante simulación Monte Carlo (MC) se desarrolla utilizando MATLAB (Chow & Leung, 2008). Esa GUI (DOSCTP) proporciona una plataforma fácil de usar para el cálculo de dosis con imágenes DICOM CT con los códigos EGSnrcMP (Kawrakow et al., 2013) y DOSXYZnrc (Walters et al., 2005).

Como trabajo futuro sería desarrollar una herramienta de cálculo de dosis a partir de simulaciones MC en donde se simule el tubo de rayos X completo las cuales sean validadas por medias experimentales para distintas calidades de haz y condiciones.

### Agradecimiento

Se agradece el apoyo de Fondecyt Regular N°1181133 y Fondecip EQM108105.

### Referencias

- Attix, F. H. (2004). *Introduction To Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. John Wiley & Sons, Inc, 607.
- Chow, J. C. L., & Leung, M. K. K. (2008). A graphical user interface for calculation of 3D dose distribution using Monte Carlo simulations. *Journal of Physics: Conference Series*, 102(1), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/102/1/012003>
- Emiliani, L. E. (2021). *Caracterización dosimétrica del irradiador preclínico X-RAD 320 e implementación en una herramienta de cálculo de dosis* [Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/62478>
- IAEA. (2005). Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: an international Code of Practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water IAEA TRS-398. In IAEA. <https://doi.org/10.1118/1.2969650>
- Kawrakow, I., Mainegra-Hing, E., Rogers, D. W. O., Tessier, F., & Walters, B. R. B. (2013). *The EGSnrc code system: Monte Carlo simulation of electron and photon transport NCR Report PIRS-701 (Ottawa: National Research Council of Canada)*. 2001–2006.
- Klevenhagen, S. C., Aukett, R. J., Harrison, R. M., Moretti, C., Nahum, A. E., & Rosser, K. E. (1996). The IPEMB code of practice for the determination of absorbed dose for x-rays below 300 kV generating potential (0.035 mm Al – 4 mm Cu HVL ; 10 – 300 kV generating potential). *Medical Physics*, 41(6),

2605–2625. <https://doi.org/10.1118/1.1374247>

Ma, C. M., Coffey, C. W., DeWerd, L. A., Liu, C., Nath, R., Seltzer, S. M., & Seuntjens, J. P. (2001). AAPM protocol for 40-300 kV x-ray beam dosimetry in radiotherapy and radiobiology. *Medical Physics*, 28(6), 868–893.

<https://doi.org/10.1118/1.1374247>

Walters, B., Kawrakow, I., & Rogers, D. W. O. (2005). DOSXYZnrc Users Manual. *Source*, 1–132.

## EVALUACIÓN DOSIMÉTRICA DEBIDO AL CAMBIO DE ENERGÍA EN FANTOMAS HETEROGÉNEOS.

### DOSIMETRIC EVALUATION DUE TO ENERGY CHANGE IN HETEROGENEOUS PHANTOMS.

Luis E. Emiliani <sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Escuela de Física. Panamá

Correo: [luisemiliani02@gmail.com](mailto:luisemiliani02@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-4876-1592>.

**Recepción**

**Aprobación**

24-08-2022

17-11-2022

#### Resumen

Se evaluó la dependencia dosimétrica de las heterogeneidades del hueso y pulmón con la dosis en agua utilizando dos energías de haces de fotones (300 kVp y 225 kVp) y dos tamaños de campo para el irradiador preclínico X-RAD 320 mediante simulaciones Monte Carlo utilizando el código DOSXYZnrc a partir de una fuente puntual de radiación isotrópica que emite espectros de energía generados con el programa SpekCalc. Esto se llevó a cabo en dos fantasmas de agua al cual se le introdujeron heterogeneidades de hueso y pulmón respectivamente y para un fantoma de ratón computacional generado a partir de simulaciones con el programa MOBY. Se encontró un aumento significativo de la dosis en hueso cuando se utilizaron haces de fotones de 300 y 225 kVp, este efecto es mayor a medida que la energía disminuye. Este efecto dosimétrico, debido a la presencia de la heterogeneidad de hueso fue más significativo en comparación con la heterogeneidad de pulmón. Por lo tanto, para las energías de fotones kV del rango utilizado en la irradiación de animales pequeños, el aumento de la dosis en hueso debido al efecto fotoeléctrico podría ser una preocupación dosimétrica.

**Palabras Clave:** Física Médica, irradiación de animales pequeños, método de Monte Carlo, dosimetría de kilovoltaje.

#### Abstract

The dosimetric dependence of the bone and lung heterogeneities with the dose in water was evaluated using two photon beam energies (300 kVp and 225 kVp) and two field sizes for the X-RAD 320 preclinical irradiator by Monte Carlo simulations using the code DOSXYZnrc from a point source of isotropic radiation that emits energy spectra generated with the SpekCalc program. This was carried out in two water phantoms to which bone and lung heterogeneities were introduced respectively and for a computational mouse phantom generated from simulations with the MOBY program. A significant increase in the dose in bone was found when photon beams of 300 and 225 kVp were used, this effect is greater as the energy decreases. This dosimetric effect, due to the presence of bone heterogeneity, was more significant compared to lung heterogeneity. Therefore, for kV photon energies in the range used in irradiating small animals, increasing the dose to bone due to the photoelectric effect could be a dosimetric concern.

**Keywords:** Medical Physics, small animal irradiation, Monte Carlo method, kilovoltage dosimetry.

## Introducción

Los estudios de radioterapia (RT) preclínica con animales pequeños son un paso indispensable en el camino desde los experimentos in vitro hasta la implementación clínica. A medida que las técnicas de RT avanzan en la clínica, es importante que los estudios preclínicos tengan acceso a niveles tecnológicos similares de forma que sus resultados sean trasladables a la clínica. El uso de tumores ortotópicos, el desarrollo de fantasmas computacionales de ratones con información de los diferentes tejidos y la reciente introducción de plataformas de investigación para la irradiación de animales pequeños guiadas por imágenes, han permitido que se administren tratamientos de precisión similares a los clínicos en el laboratorio.

Sin embargo, estos avances tecnológicos se ven obstaculizados por la falta de los correspondientes estándares en dosimetría y los informes deficientes de metodologías. Sin procesos sólidos y bien documentados de garantía de calidad de la RT preclínica, no es posible garantizar la precisión y repetibilidad de las mediciones de dosis entre laboratorios. Como consecuencia, los modelos preclínicos basados en técnicas de radioterapias actuales corren el riesgo de volverse irrelevantes (Biglin et al., 2019).

Para irradiar a un animal pequeño según el plan de tratamiento, se utilizan haces de fotones de kilovoltaje (kV) para reemplazar los haces de megavoltaje (MV) (4-18 MV) para igualar el tamaño del animal pequeño (es decir, el ratón) en comparación con el humano. Aunque los haces de fotones kV tienen las ventajas dosimétricas de atenuación del haz, dosis de profundidad y penumbra que coinciden con la escala de un ratón, el uso de haces de fotones kV produce una dosis extra de hueso. Esta mejora no deseada de la dosis ósea en la irradiación de animales pequeños no está presente en la radioterapia clínica que utiliza los haces de fotones MV y puede dar lugar a incertidumbres en el modelo preclínico (Chow et al., 2010).

El objetivo principal de este estudio trabajo es evaluar la dependencia dosimétrica de las heterogeneidades del hueso y pulmón con la dosis en agua utilizando dos energías de haces de fotones (300 kVp y 225 kVp) y dos tamaños de

campo mediante simulaciones Monte Carlo en dos fantasmas de agua al cual se le introdujeron heterogeneidades de hueso y pulmón respectivamente y para un fantoma de ratón computacional generado a partir de simulaciones con el programa MOBY.

## Materiales y métodos

### 1. Simulaciones Monte Carlo (MC)

La versión 3 del código DOSXYZnrc fue utilizada para las simulaciones Monte Carlo (Walters et al., 2005). Se utilizó una fuente puntual de radiación isotrópica y se utilizaron los mismos parámetros de simulación MC que se muestran en Emiliani (2021).

El tamaño de campo se define a una distancia fuente-isocentro (SAD, por su siglas en inglés) de 50 cm, por lo tanto, como se utilizó una SSD = 50 cm para todas las simulaciones, el tamaño de campo queda definido en superficie. Las calidades de haz utilizadas para este estudio se resumen en la tabla 1.

**Tabla 4.** Espectros de energía simulados para diferentes calidades de haz.

kVp	Filtración	Energía promedio (keV)	HVL <sub>1</sub>	HC
300	1,5 mm Al + 0,25 mm Cu + 0,75 mm Sn	152	3,56 mm Cu	0,841
225	2,0 mm Al	71,9	0,373 mm Cu	0,334

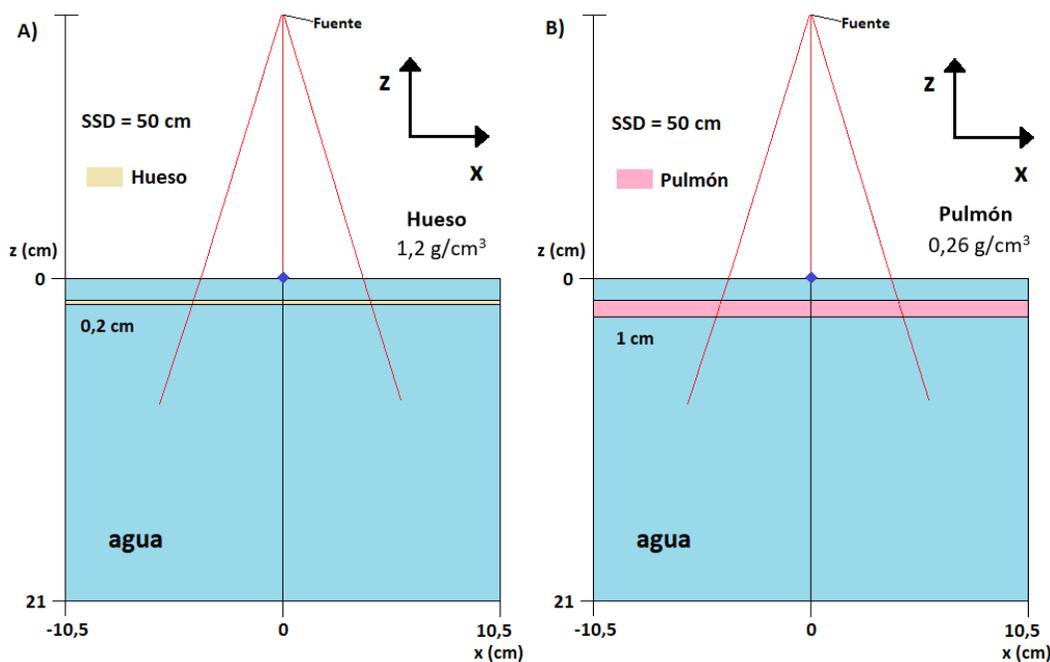
### 2. Simulaciones MC en medios heterogéneos

#### 2.1. Evaluación de la dosis en fantasmas de agua con heterogeneidades de hueso y pulmón

Las dosis para condiciones heterogéneas fueron calculadas sobre fantasmas virtuales voxelizados de agua de dimensiones 21 x 21 x 21 cm<sup>3</sup> con un tamaño de vóxel de 0,2 x 0,2 x 0,2 cm<sup>3</sup> en los cuales se introdujeron heterogeneidades de hueso y pulmón de 21 x 21 x 0,2 y 21 x 21 x 1,0 cm<sup>3</sup> (ancho x largo x espesor)

respectivamente a una profundidad de 0,8 cm. Para el hueso se utilizó una densidad de  $1,2 \text{ g/cm}^3$  y para el pulmón una densidad de  $0,26 \text{ g/cm}^3$ . El grosor de la rodaja de las heterogeneidades fue escogido de acuerdo con los tamaños que dichos tejidos u órganos tienen en un ratón.

Las dosis en profundidad se extrajeron del eje central de radiación que corresponde a la posición  $(x,y) = (0,0)$ . Los fantasmas con heterogeneidades de hueso y pulmón se simularon calidades de haz 300 y 225 kVp para tamaños de campo de  $0,5 \times 0,5$  y  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ . Se utilizan estos tamaños de campo debido a que serán los tamaños de campo de irradiación en un fantoma de ratón y por ello se quiere estimar cuales serían las diferencias en la dosis antes, en, después y lejos de una heterogeneidad en comparación con las simulaciones realizadas en condiciones homogéneas, las cuales fueron tomadas de Emiliani (2021).



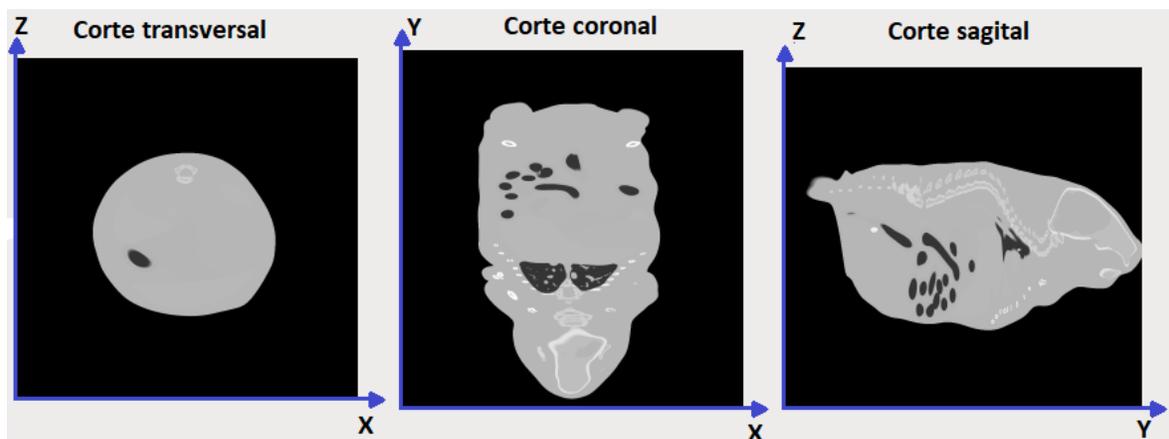
**Figura 8.** Geometría de los fantasmas de agua con la heterogeneidad de A) hueso; B) pulmón.

## 2.2. Evaluación de la dosis en un fantoma de ratón (MOBY)

Las dosis en el fantoma de ratón fueron calculadas sobre fantasmas virtuales voxelizados de ratón. Los fantasmas de ratón utilizados para este estudio fueron generados a partir de un programa llamado MOBY versión 2.0 distribuido por Duke

Licensing & Ventures, el cual permite la creación de fantasmas voxelizados para un ratón. El programa incluye modelos parametrizados en modalidad de tomografía computarizada (CT) para el latido del corazón y los movimientos respiratorios, así como numerosos parámetros para crear variaciones anatómicas y de movimiento normales y anormales. MOBY fue desarrollado principalmente para la investigación preclínica en animales pequeños (imágenes médicas y radioterapia). En nuestro caso el fantoma generado corresponde a una imagen 3D del ratón acostado.

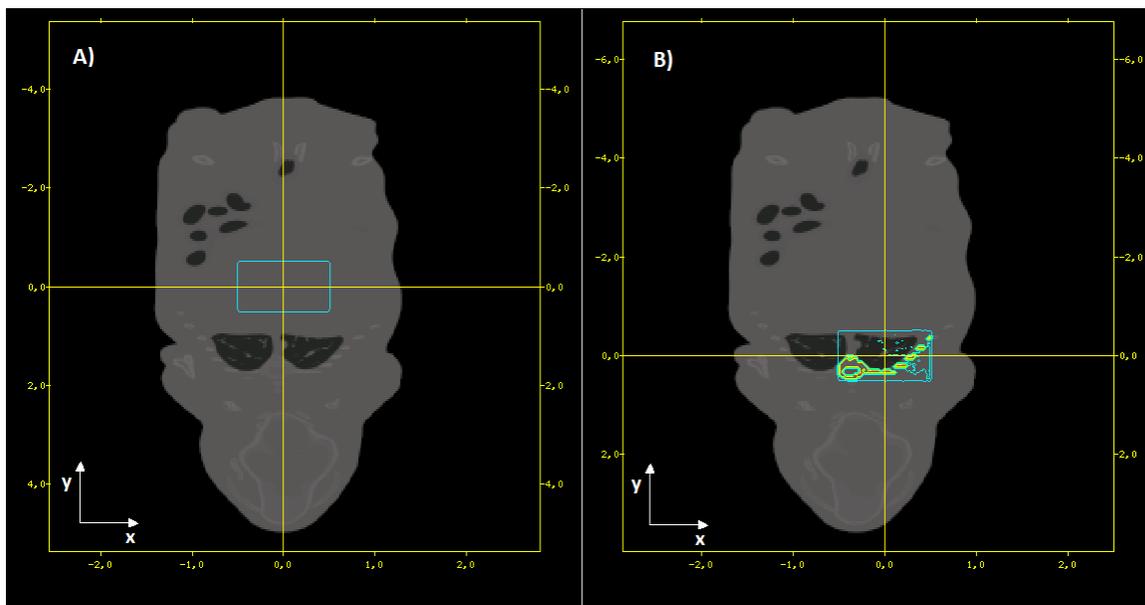
Los fantasmas voxelizados que genera MOBY se guardan como imágenes binarias sin encabezado, dichas imágenes es una matriz 3D de coeficientes de atenuación lineal en unidades de 1/píxel, que posteriormente se convirtieron en unidades de 1/cm. El programa cuenta con la opción de definir el grosor de los cortes, así como también la resolución espacial de la imagen (tamaño de píxel), entre otros parámetros. En la figura 2 se muestra la visualización del fantoma generado por MOBY para este trabajo (Emiliani, 2021).



**Figura 9.** Visualización del fantoma de ratón generado por MOBY.

El fantoma de ratón tiene un tamaño de vóxel de  $0,02 \times 0,04 \times 0,02 \text{ cm}^3$ , con un total de  $(268 \times 268 \times 132)$  vóxeles.

Se generaron dos fantasmas con MOBY con diferentes coordenadas, como se muestran en la figura 3. El fantoma MOBY1 corresponde a la figura 3A donde el eje central del haz se encuentra en el centro geométrico del ratón, mientras que el fantoma MOBY2 corresponde a la figura 3B en donde el eje central del haz se colocó para irradiar el pulmón izquierdo. Se tuvo que utilizar dos fantasmas de ratón con diferentes coordenadas para realizar las simulaciones debido a que la fuente 3 toma como eje central del haz la posición  $(x,y) = (0,0)$ , debido a que en el fantoma MOBY2 se quiso irradiar el pulmón izquierdo.

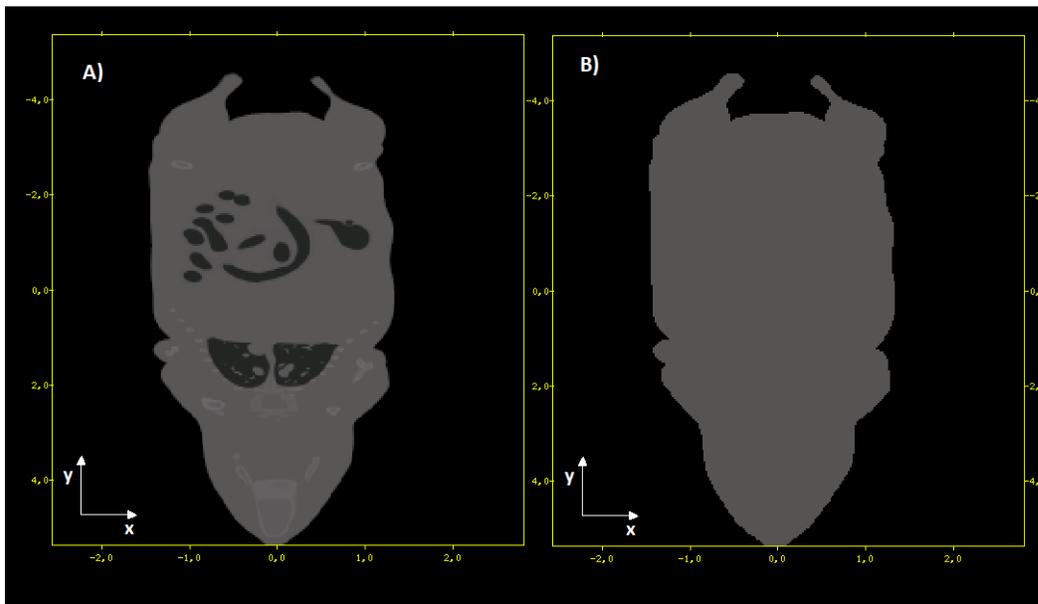


**Figura 10.** Fantoma de ratón A) MOBY1; B) MOBY2, a una profundidad de 1 cm y para un tamaño de campo de  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .

Adicionalmente se generó un ratón con densidad interior homogénea equivalente a agua (con densidad de  $1 \text{ g/cm}^3$ ) como se muestra en la figura 4.

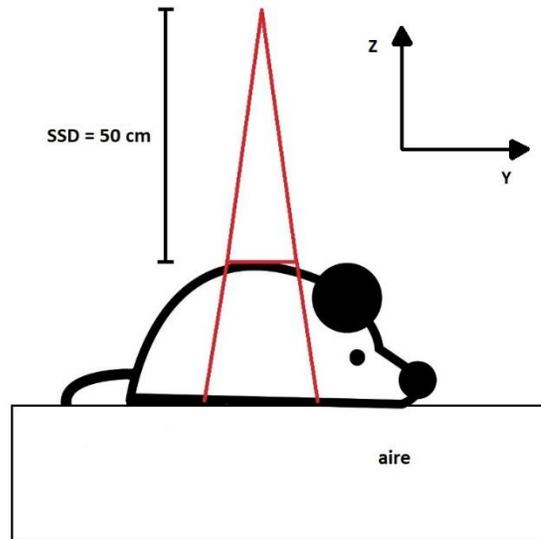
Para los fantasmas de ratón heterogéneos MOBY1 y MOBY2 y los fantasmas de ratón homogéneos MOBY1 y MOBY2 se simuló calidades de haz 300 y 225 kVp para tamaños de campo de  $0,5 \times 0,5$  y  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ . El objetivo de irradiar con estas

condiciones se debe a que se quiere comparar si los resultados obtenidos en fantasmas de agua con heterogeneidades de hueso y pulmón son compatibles con los resultados evaluados con un fantoma de ratón y se busca estimar cuales serían las diferencias en la dosis antes, en, después y lejos de una heterogeneidad en comparación con las simulaciones realizadas en condiciones homogéneas y en el fantoma de ratón homogéneo.



**Figura 11.** Fantasmas de ratón voxelizados (vista coronal) A) original (fantoma de ratón heterogéneo); B) sobrescrito con agua (fantoma de ratón homogéneo).

Las curvas de dosis en profundidad para el fantoma de ratón MOBY1 fueron extraídas en la posición  $(x,y) = (0,01;0,02)$ , mientras que en fantoma de ratón MOBY2 las curvas de dosis en profundidad se extrajeron en la posición  $(x,y) = (-0,01;-0,06)$ . El SSD utilizado para el fantoma MOBY1 fue de 50 cm, mientras que el utilizado para el fantoma MOBY2 fue de 50,12 cm, debido a que los primeros 6 puntos en la curva de dosis en profundidad fueron dosis en aire. Los resultados que se obtendrán con respecto a la curva de dosis en profundidad no deben ser tan distintos si se hubiese utilizado una SSD de 50 cm. En la figura 5 se muestra el posicionamiento del ratón en el eje del haz.



**Figura 12.** Diagrama del fantoma de ratón en el eje del haz.

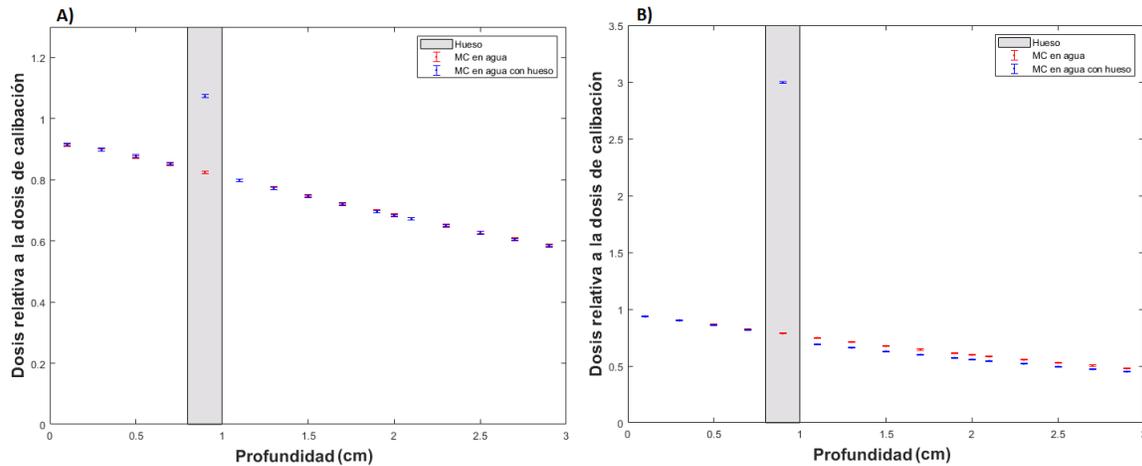
## Resultados

### 1. Condiciones Heterogéneas

#### 1.1 Fantoma de agua con heterogeneidad de hueso

En la figura 6 se muestran los gráficos comparativos para la dosis relativa en profundidad para un fantoma de agua con una heterogeneidad de hueso (con un tamaño de  $21 \times 21 \times 0,2 \text{ cm}^3$ ) situado a una profundidad de  $0,8 \text{ cm}$ , para calidades de haz de  $300$  y  $225 \text{ kVp}$ , y un tamaño de campo de  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .

Las diferencias porcentuales entre la dosis en el fantoma de agua con la heterogeneidad de hueso y la dosis en agua se muestran en la tabla. 2 para calidades de haz de  $300$  y  $225 \text{ kVp}$ , y tamaños de campo de  $0,5 \times 0,5 \text{ cm}^2$  y  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ , dichas diferencias se muestran en diferentes posiciones relativas a la heterogeneidad.



**Figura 13.** Dosis relativa en profundidad para una calidad de haz de A) 300 kVp; B) 225 kVp, con un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>, en agua (puntos rojos) y en el fantoma de agua con una heterogeneidad de hueso (puntos azules) simulados en este trabajo.

**Tabla 5.** Diferencias relativas porcentuales entre la dosis en el fantoma de agua con la heterogeneidad de hueso y la dosis en agua para calidades de haz de 300 y 225 kVp y tamaños de campo de 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup> y 1 x 1 cm<sup>2</sup>.

Posición z (cm)	300 kVp	225 kVp			
		0,5 x 0,5 cm <sup>2</sup>	1 x 1 cm <sup>2</sup>	0,5 x 0,5 cm <sup>2</sup>	1 x 1 cm <sup>2</sup>
antes	0,7	0,1 %	0,4 %	-0,2 %	-0,7 %
<b>hueso</b>	<b>0,9</b>	<b>27,8 %</b>	<b>30,2 %</b>	<b>280,0 %</b>	<b>281,0 %</b>
después	1,1	-0,4 %	0,0 %	-7,3 %	-7,6 %
lejos	1,9	-0,6 %	-0,2 %	-6,5 %	-6,8 %

De la figura 6 no se aprecian variaciones significativas antes de la heterogeneidad de hueso. Para una calidad de haz de 300 kVp la dosis en el hueso aumenta hasta 27,8 % y 30,2 % en comparación con la dosis en agua para tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 1 x 1 cm<sup>2</sup> respectivamente, mientras que para una calidad de haz de 225 kVp la dosis en el hueso aumenta hasta 280 % y 281 % en comparación de la dosis en agua para tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 1 x 1 cm<sup>2</sup> respectivamente.

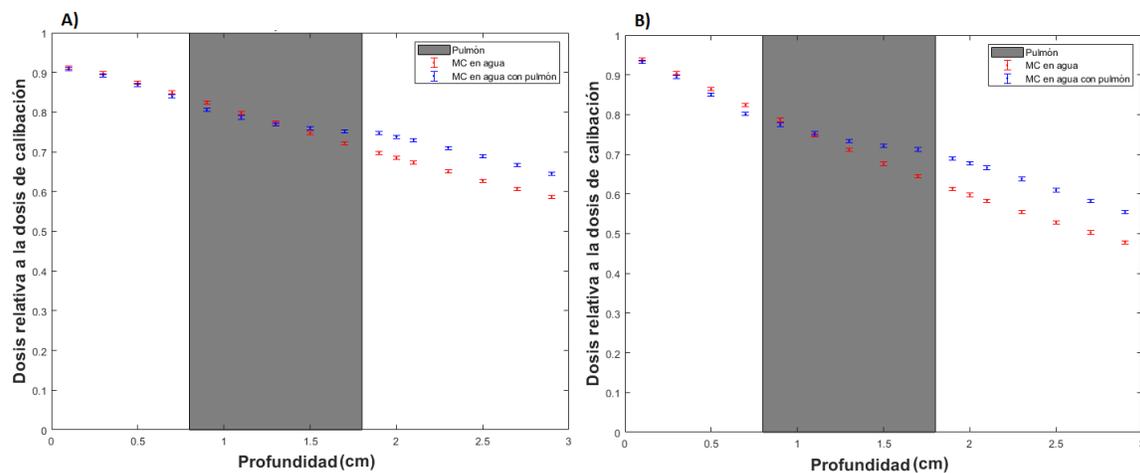
La disminución de la dosis después de 1 cm de la heterogeneidad de hueso no es tan notoria para la calidad de haz de 300 kVp, con disminuciones de dosis de

0,6 % y 0,2 % para tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 1 x 1 cm<sup>2</sup> respectivamente, mientras que para una calidad de haz 225 kVp tiene disminuciones de dosis de 6,5 % y 6,8 % para tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 1 x 1 cm<sup>2</sup> respectivamente.

## 1.2. Fantoma de agua con heterogeneidad de pulmón

En la figura 7 se muestran los gráficos comparativos para la dosis relativa en profundidad para un fantoma de agua con una heterogeneidad de pulmón (con un tamaño de 21 x 21 x 1 cm<sup>3</sup>) situado a una profundidad de 0,8 cm, para calidades de haz de 300 y 225 kVp, y un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>.

Las diferencias porcentuales entre la dosis en el fantoma de agua con la heterogeneidad de pulmón y la dosis en agua se muestran en la tabla 3 para calidades de haz de 300 y 225 kVp, y tamaños de campo de 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup> y 1 x 1 cm<sup>2</sup>, dichas diferencias se muestran en diferentes posiciones relativas a la heterogeneidad.



**Figura 14.** Dosis relativa en profundidad para una calidad de haz de A) 300 kVp; B) 225 kVp, con un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>, en agua (puntos rojos) y en el fantoma de agua con una heterogeneidad de pulmón (puntos azules) simulados en este trabajo.

**Tabla 6.** Diferencias relativas porcentuales entre la dosis en el fantoma de agua con la heterogeneidad de pulmón y la dosis en agua para calidades de haz de 300 y 225 kVp y tamaños de campo de 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup> y 1 x 1 cm<sup>2</sup>.

Posición	z (cm)	300 kVp		225 kVp	
		0,5 x 0,5 cm <sup>2</sup>	1 x 1 cm <sup>2</sup>	0,5 x 0,5 cm <sup>2</sup>	1 x 1 cm <sup>2</sup>

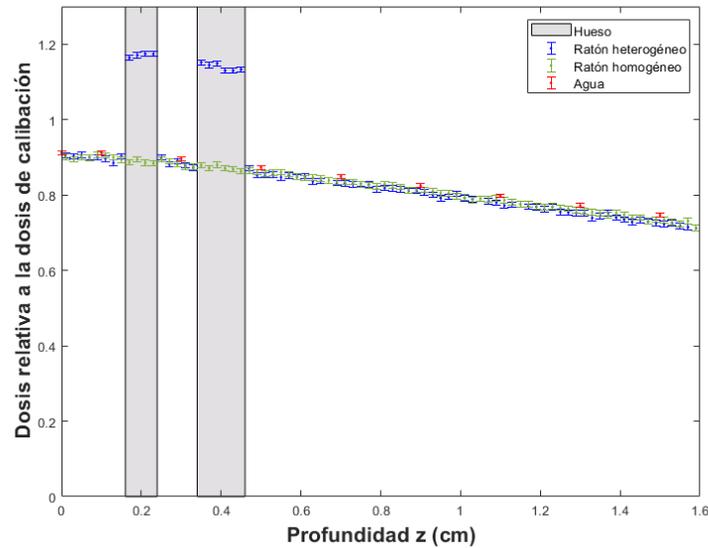
antes	0,7	-0,6 %	-1,2 %	-1,4 %	-2,8 %
Pulmón	0,9	-1,4 %	-2,2 %	0,6 %	-1,6 %
	1,1	-0,2 %	-1,5 %	3,1 %	0,7 %
	1,3	1,7 %	-0,5 %	6,0 %	3,1 %
	1,5	3,8 %	1,7 %	9,8 %	6,6 %
	1,7	6,2 %	4,1 %	14,2 %	10,5 %
después	1,9	9,2 %	7,1 %	15,5 %	12,5 %
lejos	2,7	11,0 %	9,9 %	17,0 %	15,7 %

En la figura 7 se muestra una disminución en la dosis en el fantoma con una heterogeneidad de pulmón en comparación con la dosis en agua, luego se muestra un incremento en la dosis en el pulmón. Después de 1 cm de la heterogeneidad de pulmón a una profundidad de 2,7 cm para la calidad de haz de 300 kVp presenta aumentos en la dosis de 11,0 % y 9,9 % para tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 1 x 1 cm<sup>2</sup> respectivamente, mientras que para la calidad de haz de 225 kVp muestra aumentos en la dosis de 17,0 % y 15,7 % para tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 1 x 1 cm<sup>2</sup> respectivamente.

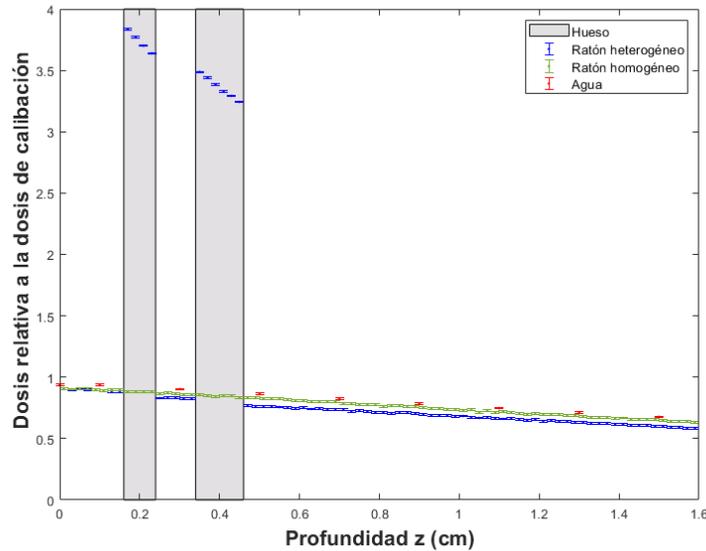
### 1.3 Fantoma de ratón MOBY1

En las figuras 8 y 9 se muestran los gráficos comparativos para la dosis relativa en profundidad para el fantoma de ratón heterogéneo, el fantoma de ratón homogéneo y el fantoma homogéneo de agua, para calidades de haz de 300 y 225 kVp, y un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>.

Las diferencias porcentuales relativas entre dosis en el fantoma de ratón heterogéneo (FR) en comparación con la dosis en el fantoma homogéneo de agua (FA) y con la dosis en el fantoma de ratón homogéneo (FRH) se muestran en la tablas 4 y 5 para calidades de haz de 300 y 225 kVp, y para tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 1 x 1 cm<sup>2</sup> en diferentes posiciones relativas a las heterogeneidades.



**Figura 15.** Dosis relativa en profundidad para una calidad de haz de 300 kVp y un tamaño de campo de  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ , en el fantoma de ratón heterogéneo (puntos azules), en el fantoma de ratón homogéneo (puntos verdes) y en agua (puntos rojos) simulados en este trabajo.



**Figura 16.** Dosis relativa en profundidad para una calidad de haz de 225 kVp y un tamaño de campo de  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ , en el fantoma de ratón heterogéneo (puntos azules), en el fantoma de ratón homogéneo (puntos verdes) y en agua (puntos rojos) simulados en este trabajo.

**Tabla 7.** Diferencias porcentuales relativas entre la dosis en el fantoma de ratón (FR) en comparación con la dosis en el fantoma homogéneo de agua (FA) y con la dosis en el fantoma de ratón homogéneo (FRH) para una calidad de haz de 300 kVp y tamaños de campo de  $0,5 \times 0,5$  y  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .

Posición	z (cm)	300 kVp			
		$0,5 \times 0,5 \text{ cm}^2$		$1 \times 1 \text{ cm}^2$	
		FR y FA	FR y FRH	FR y FA	FR y FRH
antes	0,15	-0,9 %	-0,3 %	-0,6 %	1,0 %
hueso	0,17	27,4 %	28,3 %	28,4 %	31,2 %
	0,21	29,1 %	30,5 %	30,0 %	32,6 %
	después	0,25	-0,3 %	0,6 %	-0,1 %
hueso	0,35	27,3 %	29,6 %	29,3 %	31,1 %
	0,39	28,5 %	30,1 %	29,6 %	30,5 %
	0,43	27,9 %	28,8 %	28,1 %	30,1 %
después	0,47	0,1 %	1,5 %	-0,7 %	0,8 %
lejos	1,45	-2,3 %	-1,6 %	-2,6 %	-0,9 %

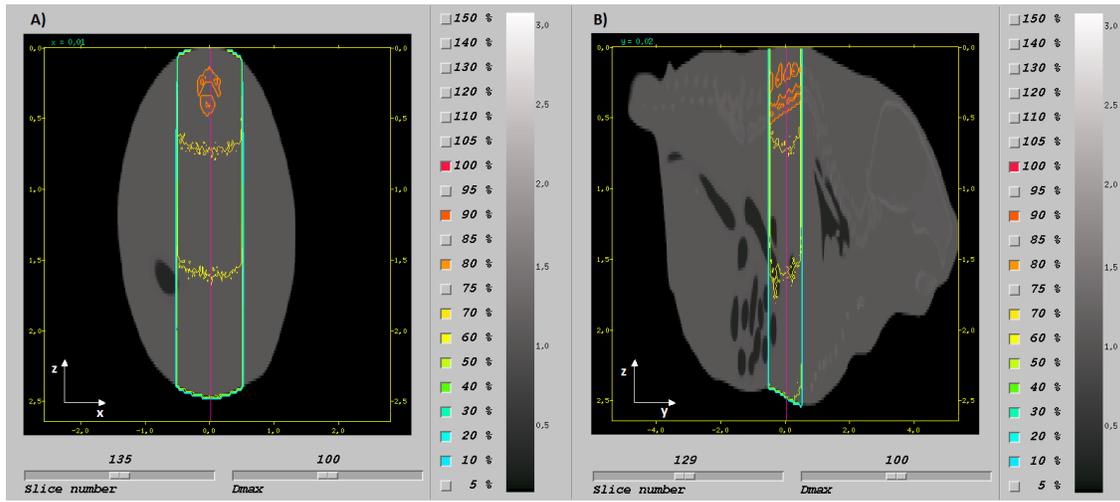
**Tabla 8.** Diferencias porcentuales relativas entre la dosis en el fantoma de ratón (FR) en comparación con la dosis en el fantoma homogéneo de agua (FA) y con la

dosis en el fantoma de ratón homogéneo (FRH) para una calidad de haz de 225 kVp y tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 1 x 1 cm<sup>2</sup>.

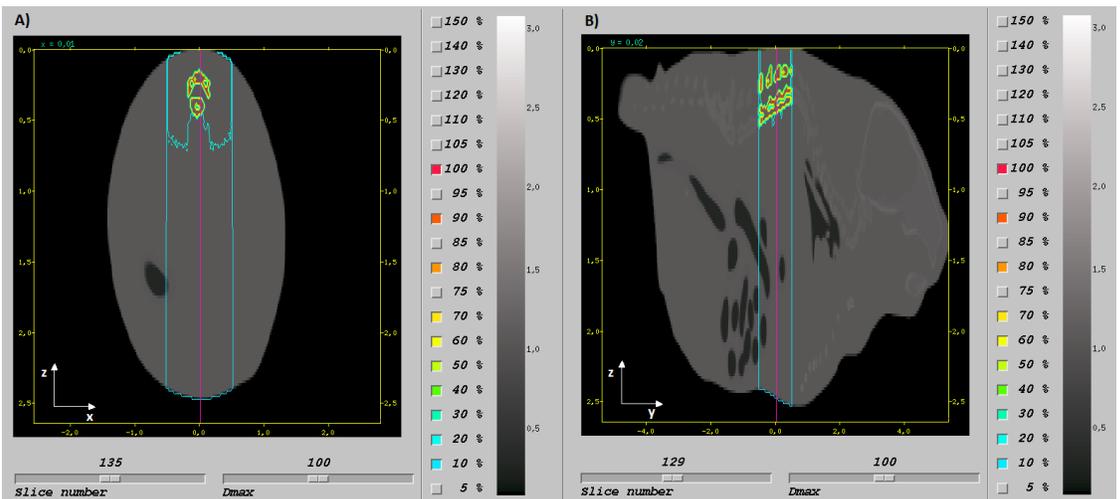
Posición	z (cm)	225 kVp			
		0,5 x 0,5 cm <sup>2</sup>		1 x 1 cm <sup>2</sup>	
		FR y FA	FR y FRH	FR y FA	FR y FRH
antes	0,15	-4,3 %	-0,5 %	-5,0 %	-1,4 %
hueso	0,17	314,1 %	333,8 %	314,4 %	335,3 %
	0,21	299,9 %	316,4 %	302,8 %	320,0 %
después	0,25	-8,2 %	-4,1 %	-9,0 %	-4,2 %
hueso	0,35	288,4 %	308,2 %	290,1 %	305,3 %
	0,39	279,2 %	297,4 %	281,9 %	301,5 %
	0,43	271,0 %	288,0 %	274,8 %	287,9 %
después	0,47	-11,9 %	-7,9 %	-11,8 %	-7,6 %
lejos	1,45	-10,9 %	-7,1 %	-11,6 %	-7,3 %

En las figuras 8 y 9 se muestra un aumento en la dosis en hueso en el fantoma del ratón heterogéneo, con respecto a la dosis en un fantoma de ratón homogéneo y un fantoma de agua homogéneo. Para las dos calidades de haz simuladas existe una disminución de la dosis después del hueso con respecto a la dosis en el fantoma de ratón homogéneo y la dosis en agua.

En las figuras 10 y 11 se muestran las isodosis en la vista transversal y sagital para el fantoma de ratón heterogéneo (MOBY1) utilizando el visualizador DOSXYZnrc, para calidades de haz de 300 y 225 kVp, y un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>. Los datos están normalizada a la dosis máxima en el fantoma de ratón.



**Figura 17.** Isodosis en el fantoma de ratón MOBY1 en A) vista transversal; B) vista sagital, utilizando dosxyz\_show, para una calidad de haz de 300 kVp y un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>.



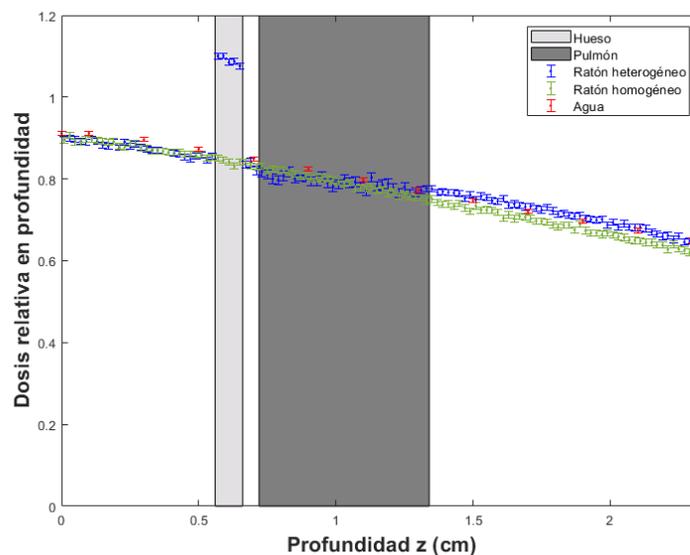
**Figura 18.** Isodosis en el fantoma de ratón MOBY1 en A) vista transversal; B) vista sagital, utilizando dosxyz\_show, para una calidad de haz de 225 kVp y un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>.

#### 1.4 Fantoma de ratón MOBY2

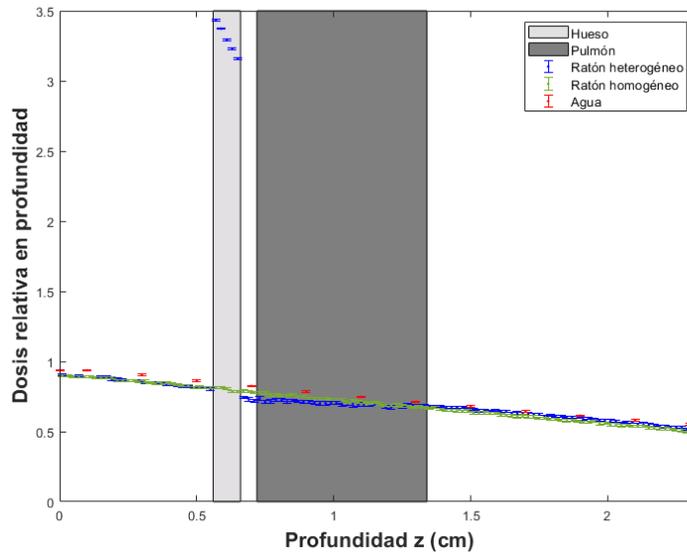
En las figuras 12 y 13 se muestran los gráficos comparativos para la dosis relativa en profundidad para el fantoma de ratón heterogéneo, el fantoma de ratón

homogéneo y el fantoma homogéneo de agua, para calidades de haz de 300 y 225 kVp, y un tamaño de campo de  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .

Las diferencias porcentuales relativas entre dosis en el fantoma de ratón heterogéneo (FR) en comparación con la dosis en el fantoma homogéneo de agua (FA) y con la dosis en el fantoma de ratón homogéneo (FRH) se muestran en la tablas 6 y 7 para calidades de haz de 300 y 225 kVp, y para tamaños de campo de  $0,5 \times 0,5$  y  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  en diferentes posiciones relativas a las heterogeneidades.



**Figura 19.** Dosis relativa en profundidad para una calidad de haz de 300 kVp y un tamaño de campo de  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ , en el fantoma de ratón heterogéneo (puntos azules), en el fantoma de ratón homogéneo (puntos verdes) y en agua (puntos rojos) simulados en este trabajo.



**Figura 20.** Dosis relativa en profundidad para una calidad de haz de 225 kVp y un tamaño de campo de  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ , en el fantoma de ratón heterogéneo (puntos azules), en el fantoma de ratón homogéneo (puntos verdes) y en agua (puntos rojos) simulados en este trabajo.

**Tabla 9.** Diferencias porcentuales relativas entre la dosis en el fantoma de ratón (FR) en comparación con la dosis en el fantoma homogéneo de agua (FA) y con la dosis en el fantoma de ratón homogéneo (FRH) para una calidad de haz de 300 kVp y tamaños de campo de  $0,5 \times 0,5$  y  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ .

Posición	z (cm)	300 kVp			
		$0,5 \times 0,5 \text{ cm}^2$		$1 \times 1 \text{ cm}^2$	
		FR y FA	FR y FRH	FR y FA	FR y FRH
antes	0,55	-1,6 %	-0,1 %	-1,4 %	0,2 %
hueso	0,57	<b>25,6 %</b>	27,8 %	<b>27,2 %</b>	29,1 %
	0,61	<b>26,1 %</b>	28,2 %	<b>26,1 %</b>	28,9 %
	0,65	<b>26,0 %</b>	27,8 %	<b>25,9 %</b>	27,8 %
después	0,67	-1,7 %	0,4 %	-2,1 %	-0,7 %
pulmón	0,73	-2,5 %	-1,1 %	-3,4 %	-1,9 %
	1,03	-1,9 %	-0,5 %	-1,0 %	1,2 %
	1,35	<b>1,8 %</b>	4,0 %	<b>1,2 %</b>	3,3 %
después	1,37	<b>2,1 %</b>	3,8 %	<b>0,4 %</b>	3,2 %
lejos	2,01	<b>2,8 %</b>	6,0 %	<b>1,4 %</b>	4,6 %

**Tabla 10.** Diferencias porcentuales relativas entre la dosis en el fantoma de ratón (FR) en comparación con la dosis en el fantoma homogéneo de agua (FA) y con la

dosis en el fantoma de ratón homogéneo (FRH) para una calidad de haz de 225 kVp y tamaños de campo de 0,5 x 0,5 y 1 x 1 cm<sup>2</sup>.

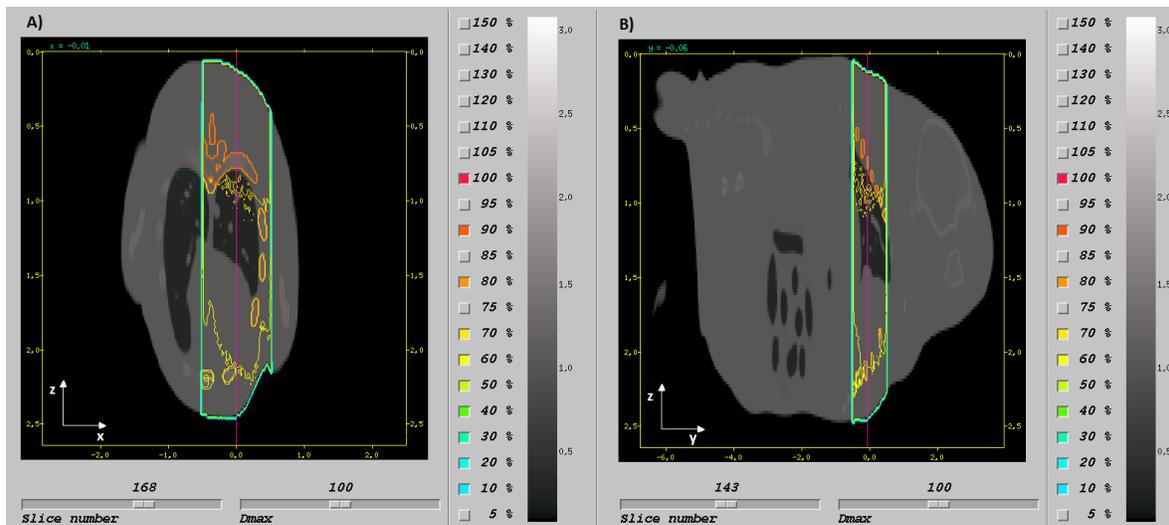
Posición	z (cm)	225 kVp			
		0,5 x 0,5 cm <sup>2</sup>		1 x 1 cm <sup>2</sup>	
		FR y FA	FR y FRH	FR y FA	FR y FRH
antes	0,55	-5,1 %	-0,7 %	-6,1 %	-1,0 %
hueso	0,57	<b>301,4 %</b>	320,3 %	<b>303,6 %</b>	323,6 %
	0,61	<b>289,0 %</b>	309,8 %	<b>290,5 %</b>	309,7 %
	0,65	<b>276,2 %</b>	293,8 %	<b>278,0 %</b>	301,8 %
después	0,67	<b>-10,2 %</b>	-6,1 %	<b>-10,6 %</b>	-5,8 %
pulmón	0,73	<b>-9,8 %</b>	-5,2 %	<b>-10,1 %</b>	-5,7 %
	1,03	<b>-7,1 %</b>	-3,1 %	<b>-9,2 %</b>	-5,0 %
	1,35	<b>-1,9 %</b>	2,2 %	<b>-3,7 %</b>	2,1 %
después	1,37	<b>-1,3 %</b>	3,2 %	<b>-2,9 %</b>	1,5 %
lejos	2,01	<b>-0,9 %</b>	4,1 %	<b>-3,3 %</b>	4,9 %

En las figuras 12 y 13 se muestra que la dosis en el fantoma MOBY2 aumenta en el hueso, mientras que disminuye después del mismo en comparación con la dosis en agua, luego las diferencias entre la dosis en el pulmón en comparación con la dosis en agua disminuyen. Para una calidad de haz de 300 kVp la dosis en MOBY2 aumenta después del pulmón en comparación con la dosis en agua, mientras que para la calidad de haz de 225 kVp la dosis en MOBY2 disminuye después del pulmón en comparación con la dosis en agua.

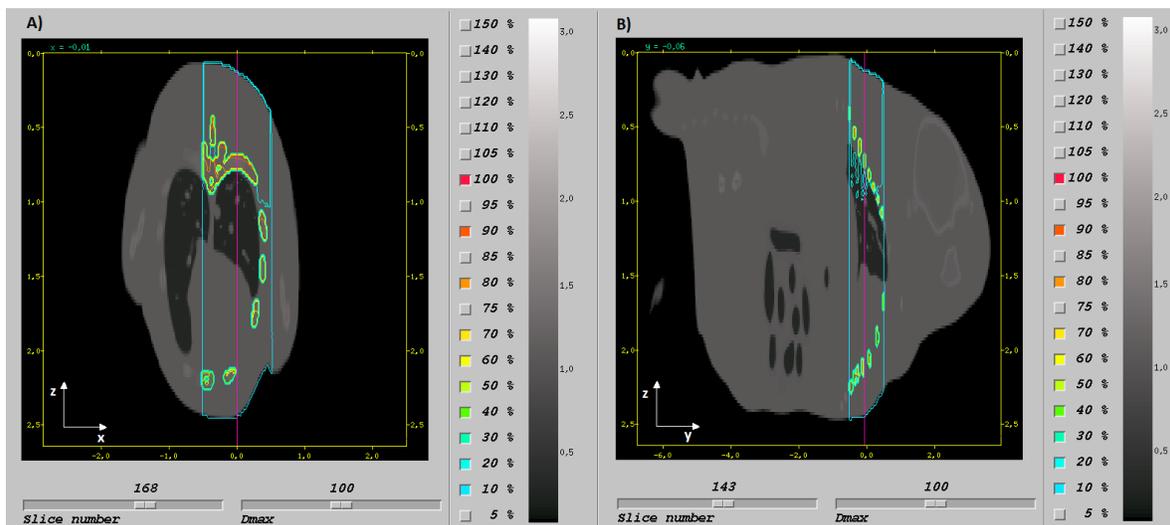
Se aprecia que no existen diferencias significativas en la dosis en MOBY2 antes del hueso en comparación con MOBY2 homogéneo para una calidad de haz de 300 kVp, mientras que existe una disminución en la dosis en MOBY2 en comparación con MOBY2 homogéneo para la calidad de haz de 225 kVp. La dosis en hueso en MOBY2 aumenta en comparación con MOBY2 homogéneo, después del mismo la dosis disminuye. Luego en el pulmón la curva de dosis en profundidad en MOBY2 se coloca por encima de MOBY2 homogéneo y después del pulmón se obtuvieron aumentos en la dosis en MOBY2 en comparación con MOBY2 homogéneo.

En las figuras 14 y 15 se muestran las isodosis en la vista transversal y sagital para el fantoma de ratón heterogéneo (MOBY2) utilizando el visualizador

DOSXYZnrc, para calidades de haz de 300 y 225 kVp, y un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>. Los datos están normalizada a la dosis máxima en el fantoma de ratón.



**Figura 21.** Isodosis en el fantoma de ratón MOBY2 en A) vista transversal; B) vista sagital, utilizando dosxyz\_show, para una calidad de haz de 300 kVp y un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>.



**Figura 22.** Isodosis en el fantoma de ratón MOBY2 en A) vista transversal; B) vista sagital, utilizando dosxyz\_show, para una calidad de haz de 225 kVp y un tamaño de campo de 1 x 1 cm<sup>2</sup>.

## Discusión

### 1. Condiciones heterogéneas

#### 1.1 Fantoma de agua con heterogeneidades de hueso

En las dos calidades de haz simuladas se observa que hay mayor deposición de dosis en el hueso que en agua. Para la calidad de haz de 300 kVp, no hay diferencia a la dosis después de la heterogeneidad. Para la otra calidad de haz (225 kVp, menos penetrante) la dosis después del hueso es ligeramente superior en agua.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el fantoma con la heterogeneidad de hueso puede apreciar un incremento de la dosis en hueso a medida que se incrementa el tamaño de campo, mientras que existe un aumento de la dosis en hueso a medida que la calidad de haz disminuye, una posible causa de esto se debe a que para calidades de haz más bajas el efecto fotoeléctrico se vuelve más relevante, aumentando la dosis en aquellos materiales con mayor  $Z_{\text{eff}}$  (número atómico efectivo) como el hueso, al tener más probabilidad de interacción, esto también explicaría la mayor disminución de la dosis después del hueso para la energía de 225 kVp en comparación con la energía de 300 kVp, debido a que para

la energía de 225 kVp habrá mayor probabilidad de interacción en el hueso, por lo tanto, habrán menos fotones que interactúen en el agua después del hueso lo que conllevaría a una mayor disminución de la dosis en comparación con la energía de 300 kVp para un tamaño de campo fijo.

### **1.2 Fantoma de agua con heterogeneidades de pulmón**

La menor dosis antes del pulmón se debe a la menor contribución por fotones retrodispersados en el tejido con menor densidad. Este comportamiento se invierte dentro del pulmón y la curva de dosis en profundidad correspondiente a la simulación con la heterogeneidad de pulmón queda por encima de la curva de dosis en profundidad en agua debido a que el haz en el fantoma homogéneo de agua se ha atenuado más de forma relativa. Este efecto es mayor a medida que aumenta la calidad de haz y mayor a medida que disminuye el tamaño de campo.

### **1.3 Fantoma de ratón MOBY1**

Los incrementos en la dosis corresponden a posiciones donde el haz interactúa con las estructuras de hueso (lo que concuerda con lo visto en el fantoma rectangular de agua con una lámina de material con densidad hueso). Es notable el aumento de dosis relativa en hueso para la calidad de 225 kVp en comparación con la energía de 300 kVp, esto se debe a que a medida que se baja la energía el efecto fotoeléctrico empieza a ser más relevante y la deposición de la dosis depende del  $Z_{eff}$ , por lo tanto, existe más probabilidad de interacción a menores energías, lo que explica el aumento de la dosis en la energía de 225 kVp en comparación con la de 300 kVp.

Lo antes descrito explicaría la mayor disminución en la dosis calculada en el fantoma de ratón MOBY1 después de la heterogeneidad de hueso en comparación con la dosis en agua, para una calidad de haz de 225 kVp en comparación con el haz de 300 kVp, también la disminución de la dosis después del hueso aumenta levemente con el tamaño de campo, aunque este efecto es mínimo en comparación con el efecto de la energía, esos comportamientos concuerdan con lo que se observó en el fantoma rectangular de agua con la heterogeneidad de hueso, para las calidades de haz y tamaños de campo simulados.

#### 1.4 Fantoma de ratón MOBY2

Se encontraron incrementos en la dosis en hueso para el fantoma MOBY2 en comparación con la dosis en agua, el incremento es mayor para la calidad de haz de 225 kVp que para la calidad de haz de 300 kVp, lo que concuerda con lo encontrado en el ratón MOBY1 y el fantoma de agua con la heterogeneidad de hueso. Luego del hueso se observó una mayor disminución de la dosis en MOBY2 en comparación con la dosis en agua para una calidad de haz de 225 kVp en comparación con el haz de 300 kVp, dicho aumento se incrementa con el tamaño de campo.

Luego dentro de la heterogeneidad de pulmón la dosis en MOBY2 aumenta en comparación con la dosis en agua, para ambas calidades de haz. El aumento de la dosis después de una heterogeneidad de pulmón aumenta mientras que el haz sea más penetrante, mientras que ese aumento se incrementa con la disminución del tamaño de campo, por eso la dosis después de la heterogeneidad de pulmón fueron mayores a la dosis en agua para una calidad de haz de 300 kVp, y dicho aumento fue mayor para el tamaño de campo de  $0,5 \times 0,5 \text{ cm}^2$ , mientras que el efecto del aumento de la dosis en MOBY2 para una calidad de haz de 225 kVp fue menor por lo antes descrito, por lo tanto, para este haz el efecto de la disminución en la dosis después del hueso fue mayor que el efecto en el aumento de la dosis después de la heterogeneidad de pulmón, y se presentaron diferencias mayores para el tamaño de campo de  $1 \times 1 \text{ cm}^2$ . Estos resultados concuerdan con los resultados obtenidos para el fantoma de agua con la heterogeneidad de pulmón.

#### Conclusiones

Se evaluaron las diferencias entre la dosis en condiciones heterogéneas (en un fantoma de agua con heterogeneidades de hueso y pulmón), y la dosis en condiciones homogéneas (en agua). La dosis en hueso aumenta en comparación con la dosis en agua, este efecto es mayor a medida que la calidad de haz disminuye (mayor dosis en hueso en un haz de 225 kVp, que en uno de 300 kVp) y esto se debe para energías más bajas existe una mayor probabilidad de interacción debido

a que efecto fotoeléctrico se vuelve más relevante, y la dosis aumenta en aquellos materiales con mayor  $Z_{\text{eff}}$  (número atómico efectivo) como el hueso. Después de una heterogeneidad de hueso la dosis disminuye y esta disminución aumenta a medida que la calidad de haz disminuye, debido a que como el haz se atenúa más para una calidad de haz de 225 kVp que en una de 300 kVp.

Antes de una heterogeneidad de pulmón la dosis disminuye en comparación con la dosis en agua y esto se debe a que como el pulmón tiene menor densidad que el agua, se tendrá una menor contribución de la retrodispersión. Luego, en el pulmón ocurre lo contrario donde la dosis en profundidad en un fantoma de agua con una heterogeneidad de pulmón aumenta en comparación con la dosis en agua y esto se debe a que como el pulmón presenta una menor densidad que el agua el haz se atenúa menos de forma relativa que en agua, por ello se tienen aumentos en la dosis después de una heterogeneidad de pulmón, en donde este aumento en la dosis es mayor a medida que aumenta la calidad del haz y a medida que disminuye el tamaño de campo.

En las condiciones de irradiación real (en el fantoma MOBY1 y MOBY2) los resultados obtenidos concuerdan con las conclusiones obtenidas a partir de las comparaciones de las condiciones heterogéneas y homogéneas, lo que se podría añadir es que en MOBY2 se obtuvo una curva de dosis en profundidad para las cuales se tenía una heterogeneidad de hueso y pocos mm después una heterogeneidad de pulmón, para una calidad de haz de 300 kVp el efecto del aumento de la dosis después de la heterogeneidad de pulmón es mayor al efecto de la disminución de la dosis después de la heterogeneidad de hueso, por ello se obtuvo un aumento en la dosis después de la heterogeneidad de pulmón, este efecto fue mayor para el tamaño de campo de  $0,5 \times 0,5 \text{ cm}^2$ . Mientras que para una calidad de haz de 225 kVp, el efecto de la disminución de la dosis después de la heterogeneidad de hueso es mayor que el efecto del aumento de la dosis después de la heterogeneidad de pulmón, por ello se obtuvo disminuciones en la dosis de 0,9 % y 3,3 % en la dosis en MOBY2 en comparación con la dosis en agua para tamaños de campo de  $0,5 \times 0,5$  y  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  respectivamente.

Los efectos antes descritos van a depender del tamaño y tipo de la heterogeneidad, calidad de haz y tamaño de campo.

### Agradecimiento

Se agradece el apoyo de Fondecyt Regular N°1181133 y Fondecip EQM108105.

### Referencias

- Biglin, E. R., Price, G. J., Chadwick, A. L., Aitkenhead, A. H., Williams, K. J., & Kirkby, K. J. (2019). Preclinical dosimetry: Exploring the use of small animal phantoms. *Radiation Oncology*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13014-019-1343-8>
- Chow, J. C. L., Leung, M. K. K., Lindsay, P. E., & Jaffray, D. A. (2010). Dosimetric variation due to the photon beam energy in the small-animal irradiation: A monte carlo study. *Medical Physics*, 37(10), 5322–5329. <https://doi.org/10.1118/1.3488979>
- Emiliani, L. E. (2021). *Caracterización dosimétrica del irradiador preclínico X-RAD 320 e implementación en una herramienta de cálculo de dosis* [Pontificia Universidad Católica de Chile]. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/62478>
- Walters, B., Kawrakow, I., & Rogers, D. W. O. (2005). DOSXYZnrc Users Manual. *Source*, 1–132.

## **DIEZ AÑOS DE MONITOREO DE SUPERVIVENCIA INVERNAL MOSI EN EL PARQUE NACIONAL CHAGRES, COLÓN, PANAMÁ**

### **TEN YEARS OF MONITORING MOSI WINTER SURVIVAL IN THE CHAGRES NATIONAL PARK, COLÓN, PANAMA**

**Daniel Murcia-Moreno<sup>1</sup>, Félix Camarena<sup>2</sup>, Carlos A. Villarreal<sup>3</sup>, Karla Aparicio<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup> Investigador independiente. Las Tablas, Los Santos, República de Panamá.

Correo: [daniel.murcia@up.ac.pa](mailto:daniel.murcia@up.ac.pa)

<https://orcid.org/0000-0001-5282-6064>.

<sup>2</sup> Investigador, Universidad Especializada de las Américas UDELAS. Villa de Los Santos, República de Panamá.

Correo: [felix.camarena@up.ac.pa](mailto:felix.camarena@up.ac.pa)

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

<sup>3</sup> Docente e Investigador, Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología. Panamá, República de Panamá.

Correo: [carlosantoniovillarreal@up.ac.pa](mailto:carlosantoniovillarreal@up.ac.pa)

<https://orcid.org/00-0001-5992-6121>.

<sup>4</sup> Investigador independiente, Fundación Naturaleza y Ciencia 507. Panamá, República de Panamá.

Correo: [naturalezayciencia507@gmail.com](mailto:naturalezayciencia507@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9676-8986>.

**Recepción**

25-Marzo-2021

**Aprobación**

17-11-2022

#### **Resumen**

Se evaluó la biodiversidad de aves residentes en la estación de Monitoreo de Supervivencia Invernal (MoSI), ubicada en el área del Parque Nacional Chagres,

Panamá. El estudio se llevó a cabo durante 10 años, en el mes de diciembre de 2007 a 2017, durante tres días seguidos. Se colocaron 16 redes de niebla por pares en ocho sitios diferentes cada 200 metros. A las aves capturadas se les tomaron medidas morfométricas básicas de identificación, se anillaron y se liberaron posteriormente. Como resultado, se registraron 59 especies, pertenecientes a siete órdenes, 19 familias y 52 géneros. El índice de Shannon-Wiener mostró una alta diversidad de avifauna ( $H' = 3.428$ ). La estructura de la composición de la avifauna del lugar sugiere estar en equilibrio debido a que se encuentra representada por especies dominantes, abundantes, comunes y raras. Se reportó, según el registro de anillos, que hay aves que llevan más de 10 años que habitan en ese lugar, entre los cuales destacan el trepatroncos chocolate *Xiphorhynchus susurrans* y la tangara pechirosada *Rhodinocichla rosea*.

**Palabras Clave:** Anillamiento, área protegida, biodiversidad, longevidad.

### Abstract

We evaluate the biodiversity of resident birds at the Invernal Survival Monitoring Station (MoSI), located in the Chagres National Park, Panama. For ten years, the study was carried out from December 2007 to 2017 for three days. Sixteen nets of mist were placed in pairs at eight different sites every 200 meters. Morphometric measurements were taken from the captured birds; they were ringed and subsequently released. Statistical tests were applied to the collected data. Fifty-nine species were recorded, belonging to seven orders, 19 families, and 52 genera. The Shannon-Wiener index showed a high diversity of avifauna ( $H' = 3.428$ ). The composition of the bird fauna composition suggests being in balance because it is represented by dominant, abundant, common, and rare species. According to the ring registry, it is reported that there are birds that have lived in this place for more than ten years, among which such as the Cocoa Woodcreeper *Xiphorhynchus susurrans* and the Rosy Trush-Tanager *Rhodinocichla rosea*

**Keywords:** Bird ringing, protected area, biodiversity, longevity.

## Introducción

Las aves siempre han sido de interés para los seres humanos, no sólo porque representan uno de los grupos de animales más carismáticos y llamativos, sino porque pueden ser encontrados en todo tipo de hábitat. Es el segundo grupo de vertebrados más diverso alrededor del mundo, ya que existen 10,000 especies y cada año se descubren más (Martínez-Salinas et al. 2002; Alberto y Ramos 2015; Wyatt et al., 2019), concentrándose principalmente en las áreas tropicales, donde la riqueza específica es muy alta (Cueto 2006; Köm et al., 2009; Gallina y López-González 2011; Suárez-García et al., 2017; Sánchez 2018).

La República de Panamá, aunque cuenta con un territorio relativamente pequeño, posee unas 1010 especies registradas (Audubon, 2020). Las investigaciones relacionadas con el período de migración de las aves son las más destacadas (Villarán 2003; Pérez-Tris y Santos 2004), lo que ha permitido documentar la inmensa diversidad de aves en el país (Angehr y Miró, 2009).

El Programa de Monitoreo de Supervivencia Invernal (MoSI por sus siglas en inglés) es una red internacional de colaboradores, cuyos miembros coordinan esfuerzos de anillamiento de aves que migran desde Norteamérica y pasan su invierno en Centro y Sur América. Estos aportan información sobre el estado poblacional de muchas especies que se utiliza para definir estrategias de conservación. En Panamá, el programa dio inicio en el año 2003 con 3 estaciones de monitoreo: Campo Chagres, Parque Nacional (PNCH), Finca El Suspiro del Valle (ESDV) y Parque Nacional Soberanía-AV (PNSA), finalizando el proyecto en el 2007 (Saracco et al., 2021). Sin embargo, aunque el enfoque de MoSI es sobre especies

migratorias Neotropicales que se reproducen en Norte América, el programa también recopila información importante para las aves residentes.

Es por ello que el objetivo del presente trabajo consistió en estudiar a las aves residentes dando continuidad al proyecto en la estación de monitoreo de Campo Chagres, con fondos propios, esto con la finalidad de conocer las poblaciones de aves que habitan en el área.

## **Materiales y métodos**

### **Descripción del Área de Estudio**

La investigación se llevó a cabo en el Parque Nacional Chagres ubicado entre las provincias de Panamá y Colón (9° 21' 00" N y 79° 28' 00" O) a unos 400 m s.n.m., declarado área protegida (ANAM 1998a) mediante el Decreto Ejecutivo No. 73 de 2 de octubre de 1984. Este cuenta con una cobertura de bosques primarios y secundarios, además de ríos que suministran el agua suficiente para el río Chagres y el lago Gatún, ríos que proporcionan agua y regulan el funcionamiento del Canal de Panamá. La temperatura media del área oscila entre 30 °C en las zonas más bajas y 20 °C en las montañas, las precipitaciones varían entre 2200 mm a 4000 mm en zonas montañosas (ANAM 1998b, 2005; Desante et al., 2009; Maglianesi, 2009).

### **Metodología de campo**

El estudio se llevó a cabo durante el mes de diciembre, en un periodo de 10 años, comprendido entre los años 2007 a 2017. Se realizó un monitoreo de aves 3 días seguidos, durante 10 años en el mes de diciembre de cada año, durante la temporada seca. La técnica de muestreo que se utilizó fue la de redes de captura, también conocidas como redes de niebla o redes japonesas, las cuales han sido

utilizadas para la recolección de aves por más de 100 años y recientemente se han convertido en una herramienta efectiva para el monitoreo de poblaciones de aves (Ralph et al., 1996, 2007; Villarán 2002; Canavelli et al., 2004; Venegas 2009). Se colocaron 16 redes de niebla ubicadas por pareja en diferentes partes del área estudiada, a una distancia de 200 metros entre estas, durante un período de 9 horas por día. La colecta inició a partir de las 06:30 h y finalizó a las 15:30 h, las redes fueron revisadas una vez cada hora durante el periodo de colecta.

Las aves que se capturaron en las redes de niebla fueron llevadas al área de procesamiento, procediendo inicialmente con la identificación de los individuos con apoyo de la guía de Aves de Panamá (Angehr y Dean 2010), luego se revisó el anillado en la pata derecha para determinar si había sido capturada anteriormente o era una recaptura de años anteriores, si no tenía anillo se procedía a anillar inmediatamente (Figura 3). Seguidamente, se tomaron diferentes variables corporales como señala el procedimiento según Desante et al. (2009), los cuales fueron anotados en la hoja de campo. Entre las variables que se tomaron en cuenta están las características fisiológicas y fenotípicas: sexo, edad, morfología, cambio de plumaje, estado reproductivo, medidas del ala, cola, tarso, culmen y peso, esto como protocolo ya establecido desde el primer monitoreo en el año 2007. Por último, se tomó evidencia fotográfica y se dejaron en libertad de acuerdo a lo establecido por Villarán (2002).

Los datos recolectados en los tres días de monitoreo fueron registrados en una base de datos para posteriormente ser estudiados y analizados estadísticamente. Para la longevidad de las aves solo se tomaron en cuenta individuos que tuvieran más de 5 años de captura contando desde la primera vez que fueron anillados hasta la última recaptura de los mismos.

## **Análisis estadístico**

Una vez colectados y tabulados los datos se procedió a hacer el análisis, se utilizó el paquete estadístico libre, Past 3.25 (Hammer et al., 2001), el cual se usó para calcular los índices de biodiversidad y riqueza. Se analizaron 10 años de datos, esto con la finalidad de saber cuánto puede sobrevivir un ave en esta área.

## **Resultados**

### **Riqueza**

En el área estudiada, durante el mes de diciembre de 2007 – 2017 se registraron 59 especies, pertenecientes a 7 órdenes, 19 familias y 52 géneros; capturadas mediante el método de redes de captura. En el Cuadro 1, Figuras 4 y 5, se muestra la descripción taxonómica, así como imágenes de la avifauna registradas durante el período de investigación.

Los órdenes que presentaron mayor riqueza fueron los Passeriformes con 43 especies, seguido de Apodiformes con nueve; mientras que los demás órdenes

**Tabla 1.** Registro de la riqueza de especies en la estación MoSI

Órdenes	Familia	Género	Especie	Nombre Común
		<i>Geotrygon</i>	<i>montana</i>	Paloma perdiz-rojiza
Columbiformes	Columbidae	<i>Leptotila</i>	<i>cassinii</i>	Paloma pechígris
		<i>Claravis</i>	<i>pretiosa</i>	Tórtola azul
		<i>Thalunaria</i>	<i>colombica</i>	Ninfa coroniazulada
		<i>Chalybura</i>	<i>buffonii</i>	Calzonario de Buffon
		<i>Amazilia</i>	<i>tzacatl</i>	Amazilia colirrufa
		<i>Saucerottia</i>	<i>edward</i>	Amazilia ventrinivosa
		<i>Chlorestes</i>	<i>julie</i>	Colibrí ventrivoleta
		<i>Glaucis</i>	<i>hirsutus</i>	Ermitaño pechicanelo
		<i>Florisuga</i>	<i>mellivora</i>	Jacobino nuquiblanco
Apodiformes	Trochilidae			
Falconiformes	Accipitridae	<i>Buteo</i>	<i>platypterus</i>	Gavilán aludo
Trogoniformes	Trogonidae	<i>Trogon</i>	<i>rufus</i>	Trogón Gorguinegro

Coraciiformes	Momotidae	<i>Momotus</i>	<i>lessonii</i>	Momoto de Lesson
Galbuliformes	Bucconidae	<i>Malacoptila</i>	<i>panamensis</i>	Buco bigotiblanco
		<i>Hylophylax</i>	<i>naevioides</i>	Hormiguero collarejo
		<i>Thamnophilus</i>	<i>atrinucha</i>	Batará coroninegro
		<i>Cercomacroides</i>	<i>tyrannina</i>	Hormiguero negruzco
		<i>Myrmeciza</i>	<i>longipes</i>	Hormiguero ventriblanco
	Thamnophilidae			
	Formicariidae	<i>Formicarius</i>	<i>analís</i>	Hormiguero carinegro
		<i>Xiphorhynchus</i>	<i>susurrans</i>	Trepatroncos chocolate
		<i>Xenops</i>	<i>minutus</i>	Xenops bayo
		<i>Sittasomus</i>	<i>griseicapillus</i>	Trepatroncos oliváceo
<i>Dendrocinclá</i>		<i>fuliginosa</i>	Trepatroncos pardo	
<i>Sclerurus</i>		<i>guatemalensis</i>	Tirahojas gorguiescamoso	
Furnariidae				
	<i>Manacus</i>	<i>vitellinus</i>	Saltarín cuellidorado	
	<i>Chiroxiphia</i>	<i>lanceolata</i>	Saltarín coludo	
	<i>Ceratopipra</i>	<i>mentalis</i>	Saltarín cabecirojo	

Pipridae	<i>Schiffornis</i>	<i>veraepacis</i>	Schiffornis norteño
Tityridae	<i>Terenotriccus</i>	<i>erythrurus</i>	Mosquerito colírrufo
Onychorhynchidae	<i>Onychorhynchus</i>	<i>coronatus</i>	Mosquero real
	<i>Mionectes</i>	<i>oleagineus</i>	Mosquerito ventriocráceo
	<i>Oncostoma</i>	<i>olivaceum</i>	Picotorcido sureño
	<i>Attila</i>	<i>spadiceus</i>	Mosquero atila
	<i>Myiopagis</i>	<i>viridicata</i>	Mosquerito fiofío
			<i>gaimardii</i>
Tyrannidae		<i>assimilis</i>	Picoancho aliamarillo
	<i>Tolmomyias</i>		
		<i>sulphurescens</i>	Picoancho azufrado
	<i>Rhynchocyclus</i>	<i>olivaceus</i>	Picoplano oliváceo
	<i>Myiobius</i>	<i>atricaudus</i>	Mosquerito colinegro
	<i>Myiarchus</i>	<i>tuberculifer</i>	Copetón crestioscuro
	<i>Cyphorhinus</i>	<i>phaeocephalus</i>	Sotorrey canoro

	<i>Thryophilus</i>	<i>rufalbus</i>	Sotorrey rufiblanco
		<i>rutilus</i>	Sotorrey pechirrufo
Passeriformes	<i>Pheugopedius</i>	<i>fasciatoventris</i>	Sotorrey ventrinegro
	Troglodytidae		
	Polioptilidae		
	<i>Ramphocaenus</i>	<i>melanurus</i>	Soterillo piquilargo
	Turdidae		
	<i>Turdus</i>	<i>grayi</i>	Mirlo pardo
	Rhodinocichlidae		
	<i>Rhodinocichla</i>	<i>rosea</i>	Tangara pechirrosada
	Passerellidae		
	<i>Arremon</i>	<i>aurantiirrostris</i>	Gorrión piconaranja
			Tangara hormiguera gorguirroja
	Cardinalidae		
	<i>Habia</i>	<i>fuscicauda</i>	
	Cyanoloxia		
		<i>cyanooides</i>	Picogrueso negriazulado
		<i>corvina</i>	Espiguero variable
	Sporophila		
		<i>funerea</i>	Semillero menor
		<i>schistacea</i>	Semillero pizarroso
	<i>Loriotus</i>	<i>luctuosus</i>	Tangara hombrilblanca
	<i>Volatinia</i>	<i>jacarina</i>	Semillero negriazulado
	<i>Ramphocelus</i>	<i>dimidiatus</i>	Tangara dorsiroja

Thraupidae

*Saltator*

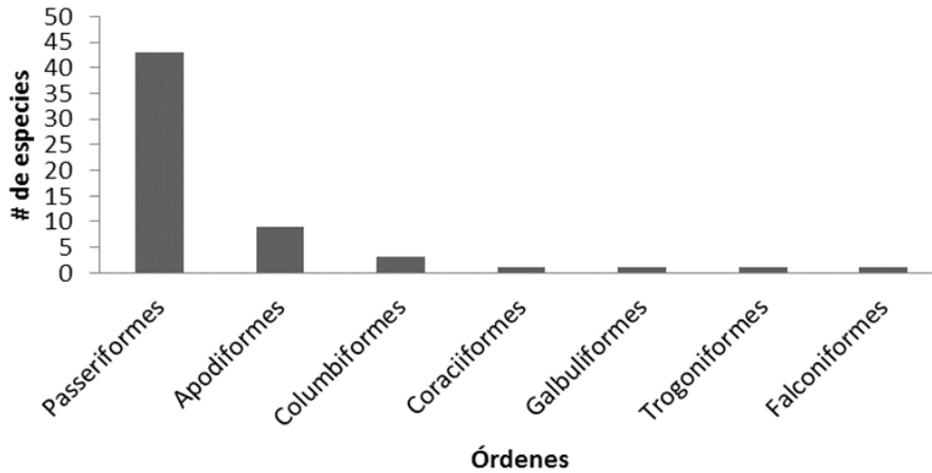
*striatipectus*

Saltator listado

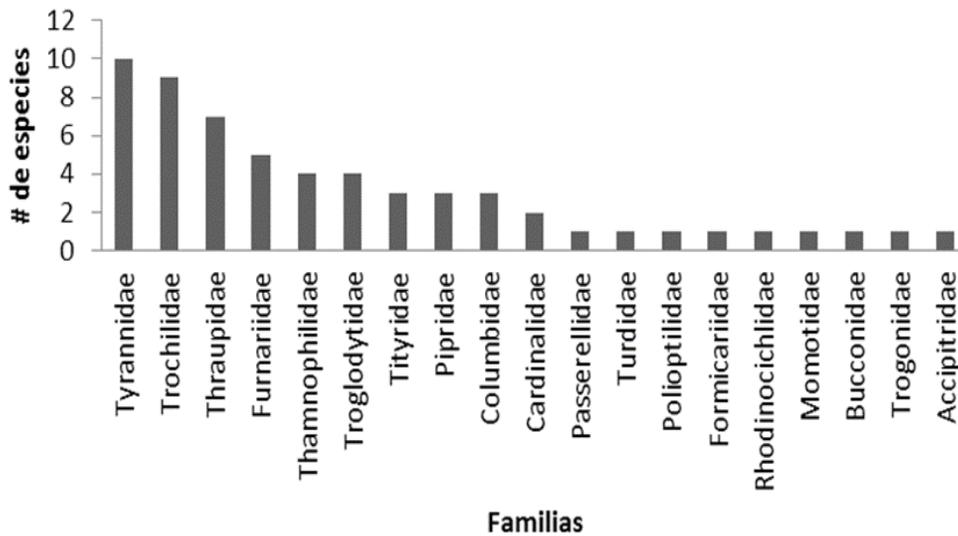
---

**Nota:** Para los nombres comunes y por especie se utilizaron los registrados en el listado oficial de las aves de Panamá que se actualiza cada año, administrado por la Sociedad Audubón de Panamá ente encargado de llevar el registro de especies de aves para el país.

presentaron registros <5 (Figura 1). Las familias que presentaron mayor riqueza fueron: Tyrannidae con (10), seguido de Trochilidae con nueve y Thraupidae con siete; mientras que las demás familias presentaron registros <5 (Figura 2).



**Figura 1.** Órdenes de aves presentes en la estación MoSI del Parque Nacional Chages.



**Figura 2.** Familias de aves presentes en la estación MoSI del Parque Nacional Chages.

El índice de diversidad aplicado indica que el área estudiada tiene representación significativa de avifauna, según el índice de Shannon ( $H' = 3.428$ ), con 59 especies registradas y 707 individuos solo en el mes de diciembre, sin embargo, la equitatividad mostró ser alta ( $E' = 0.8406$ ) y una dominancia significativa ( $D = 0.0502$ ).

Con respecto a la composición de la comunidad de aves que habitan en el área, se obtuvo como resultado 3 especies dominantes; 21 especies abundantes; 24 especies comunes y 10 especies raras; las definimos por la frecuencia en que son capturadas en la redes de niebla a los largo del estudio (Figura 4).



**Figura 3.** Individuo de la especie *Rhodinocichla rosea*, **A.** Anillo de identificación **B.** Individuo macho adulto.

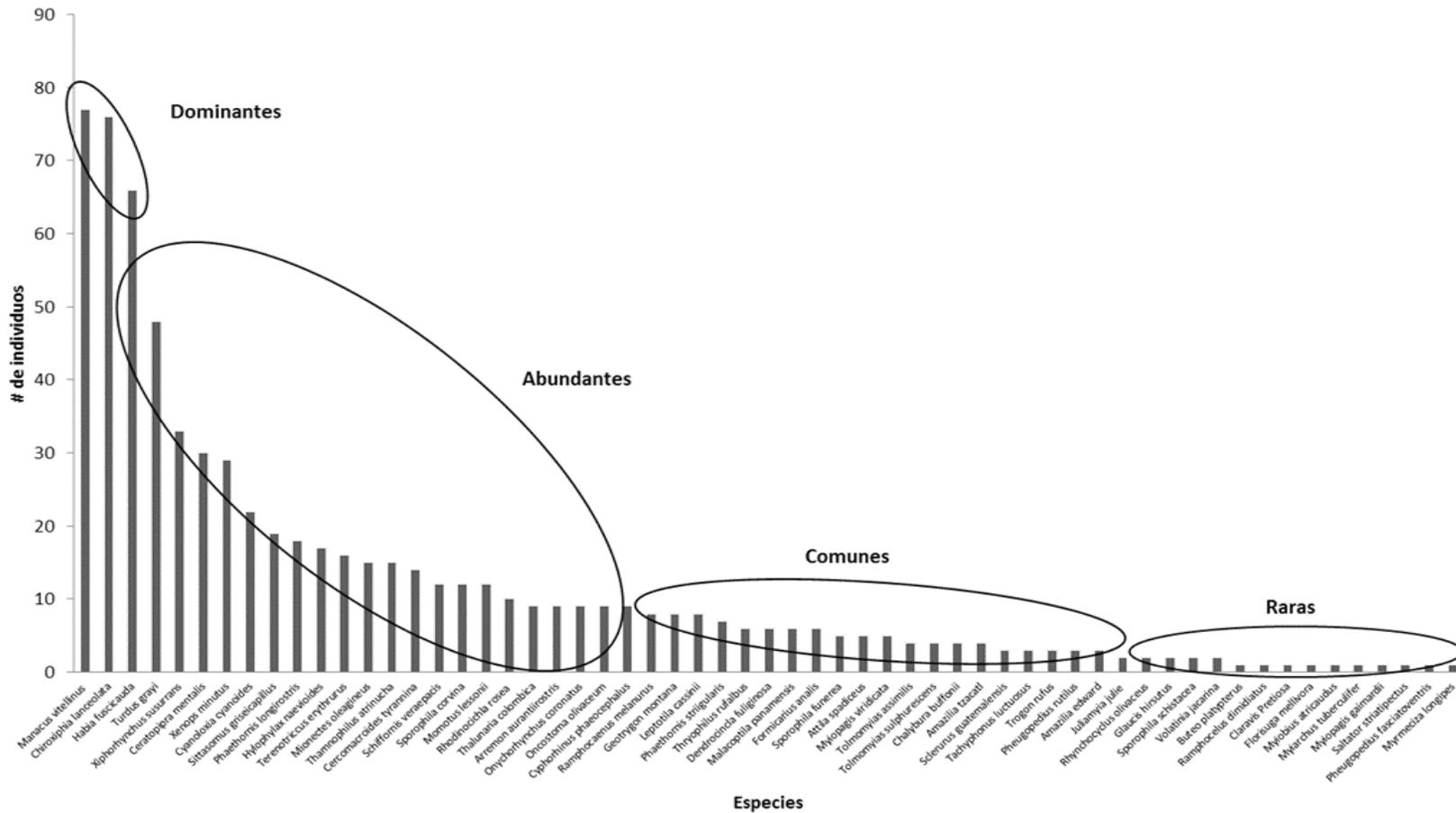


Figura 4. Composición estructural de la comunidad de aves de la estación MoSI, Parque Nacional Chagres.

En cuanto a su sobrevivencia, se registraron individuos que han estado presentes un largo periodo de vida (Cuadro 3), destacan aves como el Trepatroncos Chocolate (*Xiphorhynchus susurrans*) y la Tangara pechirosada (*Rhodinocichla rosea*) (Figura 5), quienes llevan 10 años de estar recapturándose en esta área.



**Figura 5.** Aves capturadas en la estación MoSI. **A.** *Manacus vitellinus* **B.** *Onychorhynchus coronatus* **C.** *Rhodinocichla rosea* Macho rosado, Hembra naranja. **D.** *Arremon aurantirostris* **E.** *Ceratopira mentalis* **F.** *Chiroxiphia lanceolata*.

**Cuadro 3.** Aves con más años en el periodo de 2007-2017, en la estación MoSI.

<b>Especie</b>	<b>Anillo</b>	<b>Edad<sup>1</sup></b>	<b>Captura</b>	<b>Recaptura</b>	<b>Sobrevivencia</b>
<i>Chiroxiphia lanceolata</i>	C-001	A	2007	2012	5 años
<i>Chiroxiphia lanceolata</i>	C-056	A	2007	2012	5 años
<i>Onychorhynchus coronatus</i>	D-041	A	2007	2012	5 años
<i>Onychorhynchus coronatus</i>	D-240	A	2010	2016	6 años
<i>Xenops minutus</i>	B-083	A	2009	2016	7 años
<i>Xenops minutus</i>	B-161	A	2010	2017	7 años
<i>Habia fuscicauda</i>	D-253	A	2010	2017	7 años
<i>Habia fuscicauda</i>	D-279	A	2010	2017	7 años
<i>Xiphorhynchus susurrans</i>	D-190	A	2009	2016	7 años
<i>Ramphocaenus melanurus</i>	A-067	A	2009	2016	7 años
<i>Dendrocincla fuliginosa</i>	D-140	A	2008	2016	8 años
<i>Rhodinocichla rosea</i>	E-027	A	2007	2017	10 años
<i>Xiphorhynchus susurrans</i>	D-006	A	2007	2017	10 años

<sup>1</sup> A= Adulto.

## Discusión

De acuerdo a los resultados, se determina que las aves que se registraron en este estudio son características de bosque tropical seco, estas especies se encuentran muy bien distribuidas a nivel del territorio nacional donde aún quedan remanentes bosques bien conservados o poco perturbados, se evidencio que hay presencia de especies indicadoras del ecosistema como *C. mentalis* que se le encuentra en zonas bien conservadas. En cuanto a los datos de diversidad, evidencian que la comunidad de la avifauna en el área de estudio se encuentra estable, donde hay especies que tienen prevalencia, que se mantienen relativamente constantes en el tiempo y algunas que son una rareza, donde esperan su oportunidad por sobresalir. Las mismas conforman una composición funcional, en la cual destacan las especies dominantes, como los son *M.vittelinus*, *C. lanceolata* y *H. fusicauda*, es de esperarse ya que se sabe que estas especies son territoriales y se mantienen dentro de su área demarcada por mucho tiempo, lo que no sabemos es en que época del año se mantienen con más frecuencia y si hay una competencia por los recursos disponibles entre estas. La abundancia de estas aves no es influyente, ni trae ninguna consecuencia a la estructura de aves descrita previamente para el sitio, ya que este tipo de composición estructural es natural por el tipo de hábitat, disponibilidad de alimento que juega un rol importante ya que sabemos que muchas aves se alimentan de frutos, insectos y otros organismos y flexibilidad de las especies a cambios antropogénicos muchas de las cuales en este estudio tienen esa adaptabilidad. Por otra parte, era de esperarse que el orden más abundante fuera el de los Passeriformes por ser el grupo más grande de aves en general. En cuanto a la sobrevivencia de las aves nos sorprende como las aves tienen una esperanza de vida tan larga en el lugar, no sabemos con certeza que factores pueden influir para que esto suceda, pero sin duda llama mucho la atención para futuros estudios.

Nuestros resultados están relacionados con los obtenidos por Arauz (2011), quien en la misma área de estudio con las especies *M. vitellinus*, *C. mentalis* y *C. lanceolata* encontró una abundancia bastante frecuente de estas especies y estudio su comportamiento llegando a concluir que los machos de estas especies son territoriales y siempre mantiene su fidelidad de sitio por largos periodos de tiempo. En cuanto a los resultados estadísticos, son comparables con los realizados por Bojorges Baños y López-Mata (2005), los cuales hacen un análisis de la diversidad de aves en México en una reserva con las mismas características ambientales que el Parque Nacional Chagres, mientras Gantes (2019), con datos de la misma área estudiada durante el 2017, registró 18 especies agrupadas en 12 familias y 3 órdenes, entre los cuales destaca que el orden más representativo fue Passeriformes con un total de 16 especies, lo que concuerda con el presente estudio donde para el mismo grupo se registraron 43, nuestro registro es más alto debido a que el estudio se llevó por más tiempo.

Por otro lado, la longevidad en aves sugiere que los individuos que poseen un tamaño pequeño tienen un tiempo de vida más corto, sin embargo, esta puede verse afectada por las características biológicas o ambientales que se presenten en su entorno (Verea et al., 2007). Esto sustenta los resultados obtenidos, en esta investigación donde Galbuniformes y Passeriformes anillados y recapturados presentan un promedio de vida de entre 5-10 años, así como las observaciones de (Souza-López et al., 1980), de aves de 5 años; Faaborg y Arendt (1989) en Puerto Rico, donde han encontrado especies de Passeriformes de más de 11 años de vida, Así como Faaborg y Arendt (1989) en Trinidad y Tobago, donde estimaron el tiempo de sobrevivencia de los saltarines es de 14 años. Además, Sanz (2002) y Snow y Lill, (2016) obtuvieron datos de longevidad del Trepatroncos pardo (*Dendrocicla fuliginosa*) mostrando un promedio de vida de 8 a 10.5 años, lo que concuerda con el individuo capturado de esta especie que tiene 8 años de edad aproximadamente.

### Conclusiones

Se concluye que de las 1010 especies de aves que se reportan para Panamá en el área se representa aproximadamente el 6% de estas, con una importante variedad que componen la estructura de la avifauna del lugar, hay especies dominantes, abundantes, comunes y raras, lo que conforma una buena comunidad de aves con el pasar del tiempo se espera que esta composición aumente o disminuya, dependerá de gran medida de diversos factores, se concluye así que la riqueza y abundancia en la estación MoSI es estable. En cuanto su longevidad, se puede deducir que las aves residentes en el área de estudio presentan un nivel alto de supervivencia con el pasar de los años, se obtuvieron datos de varias especies que logran sobrevivir más de 5 años, información importante para la avifauna panameña, de igual forma se reporta por primera vez para *X. susurrans* y *R. rosea* un tiempo de vida mayor a 10 años. Además se concluye de que la avifauna que habita en esta zona puede sobrevivir en vida silvestre más de 5 años.

La avifauna del área estudiada mantiene el ecosistema en equilibrio. Sin embargo, en un futuro esta área podría verse impactada por el cambio en su entorno, lo que traería grandes modificaciones para las aves que allí habitan. Por lo tanto, es importante mantener un monitoreo constante para conocer el cambio en la avifauna del lugar.

### Agradecimiento

A la Fundación Naturaleza y Ciencia 507 por habernos brindado el apoyo para el desarrollo del proyecto con su personal y logística, agradecemos a la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) y al Ministerio de Ambiente por brindarnos su apoyo y colaboración durante estos años del proyecto, sobre todo por velar siempre por nuestra seguridad. A Italo Goti por su asesoría, revisión y consejos en el proyecto. De igual manera a todos los voluntarios que durante el tiempo que lleva este estudio han colaborado incondicionalmente.

### Referencias

Alberto, S. y Ramos, R. 2015. Composición y abundancia de aves en la Comunidad Nativa Puerto Prado río Marañón. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana: 1-64.

- ANAM. 1998a. Ley 1 de 3 de febrero de 1994. Panamá: Autoridad Nacional del Ambiente. (1):1-68.  
[https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/librosdigitales/PIDCAC/ley\\_1\\_de\\_3\\_de\\_febrero\\_de\\_1994\\_anam/ley\\_1\\_forestal-anam.pdf](https://www.mida.gob.pa/upload/documentos/librosdigitales/PIDCAC/ley_1_de_3_de_febrero_de_1994_anam/ley_1_forestal-anam.pdf).
- ANAM. 1998b. Sinopsis del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Panamá. Panamá: Autoridad Nacional del Ambiente: 1–39.
- ANAM. 2005. Plan de manejo del Parque Nacional Chagres. 1st edn. Panamá: The Nature Conservancy: 1-116.
- Angehr, G. y Dean, R. 2010. The Birds of Panama. 1st ed. Central, San José, Costa Rica: Zona Tropical: 1-456.
- Angehr, G. y Miró, R. 2009. Áreas importantes para la conservación de las aves. 1edi. Quito, Ecuador: BirdLife International: 1-9.
- Audubon, S. 2020. Lista oficial de las aves de Panamá. Panamá. Sociedad Audubon: 1-16.
- Bojorges Baños, J.C. y Mata, L. 2005. Riqueza y diversidad de especies de aves en una selva mediana subperennifolia en el centro de Veracruz, México. Acta Zoológica Mexicana, 21(1): 1–20.
- Canavelli, S., Zaccagnini, M., Calamari, N., Ducommun, P., Capllonch, P. 2004. Monitoreo extensivo de aves en el centro-sur de entre ríos. Insugeo, 12(1): 349–362. doi: 10.13140/RG.2.1.4100.7528.
- Cueto, V. 2006. Escalas en ecología: su importancia para el estudio de la selección de hábitat en aves. Hornero, 21(1): 1–13.
- Desante, D. F., Saracco, J.F., Romo, C., Morales, S. 2009. Manual MoSI 2009-10 Instrucciones para el establecimiento y el manejo de estaciones de anillamiento de aves del programa MoSI. The Institute for Bird Populations: 1-52.
- Faaborg, J. y Arendt, W. 1989. Longevity Estimates of Puerto Rican Birds. North American Bird Bander, 14(1): 11–13.
- Gallina, S. y López-González, C. 2011. Manual de técnicas para el estudio de la fauna, Universidad Autónoma de Querétaro-Instituto de Ecología.

- Querétano, México: Universidad Autónoma de Querétano: 1-337. Available at: [http://www.uaq.mx/FCN/Investigacion/MANUAL\\_DE\\_TECNICAS\\_PARA\\_EL\\_ESTUDIO\\_DE\\_LA\\_FAUNA.pdf](http://www.uaq.mx/FCN/Investigacion/MANUAL_DE_TECNICAS_PARA_EL_ESTUDIO_DE_LA_FAUNA.pdf).
- Gantes, C. 2019. Características biométricas de algunas aves en el bosque seco del Parque Nacional Chagres (Panamá) y su relación con el gremio alimenticio, mediante análisis de componentes principales. Reporte. Universidad Autónoma De Chiriquí: 1-68.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontológica Electrónica* 4(1): 1- 9.
- Huayta, P., Alvis, N. y Huaylla, L. 2014. Riqueza y abundancia de aves en diferentes gradientes altitudinales de un paisaje de la comunidad Pomanasa, municipio de Poroma, Chuquisaca. Universidad Mayor, Real y Pontifica de San Francisco Xavier de Chuquisaca, 1(1): 291–304.
- Köm, M., Karabulut, E., Han, M.C., Çeribaşı, A.O. 2009. El estudio de la distribución espacial de la biodiversidad: conceptos y métodos. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 15(6): 979–982.
- Maglianesi, M. A. 2009. Establecimiento y manejo de una estación del Programa de Monitoreo y Sobrevivencia Invernal (MoSI) en un bosque tropical seco. San José, Costa Rica. Universidad Estatal a Distancia: 1-32.
- Maldonado, J., Moreno-Sánchez, R., Espinoza, S., Bruner, A., Garzón, N., Myers, J. 2016. La paz es mucho más que palomas: beneficios económicos del acuerdo de paz en Colombia, a partir del turismo de observación de aves. Washington DC. Conservation Strategy Fund: 1-55.
- Martínez-Salinas, A., DeClerck, F., Florian, E., Estrada, N. 2002. Manual de técnicas para la identificación de aves silvestres. Managua, Nicaragua. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza: 1-52.
- Martínez, M. I. 2016. Riqueza y diversidad ornitológica para las temporadas lluviosas y fría del área privada 'Don Goyo' Xalapa, Veracruz, México. Universidad Veracruzana: 1-83.

- Mejía, D. 2013. Estimación de la diversidad de aves en los ecosistemas de pino- encino en los municipios de Gualaco, La Unión y Catamas, departamento de Olancho, Honduras. Universidad Nacional de Agricultura: 1-61.
- Nahuat, M. 2015. El aviturismo y el desarrollo regional en comunidades de Península de Yucatán. Ciudad de México, México. AMECIDER-CRIM: 1–26.
- Parra, E. 2014. Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. CES Salud Pública, 5(1): 59–69.
- Pérez-Tris, J. y Santos, T. 2004. El estudio de la migración de aves en España: trayectoria histórica y perspectivas de futuro. Ardeola, 51(1): 71–89.
- Ralph, C.J., Widdowson, M., Widdowson, B., O`Donell, B., Frey, R. 2007. Protocolo de operación de la estación de anillado de aves de tortuguero. Programa integral de monitoreo de Tortuguero. San José, Costa Rica: 1-66. [http://www.pifcostarica.org/tortuguero/CD\\_to\\_participant/Protocols/Libro Verde Tortuguero.pdf](http://www.pifcostarica.org/tortuguero/CD_to_participant/Protocols/Libro Verde Tortuguero.pdf).
- Ralph, C. J., Geupel, G.R., Pyle, P., Martin, T.E., Desante, D.F., Milá, B. 1996. Manual de métodos de campo para el monitoreo de aves terrestres. California, EE.UU. Departamento de agricultura, U.S: 1-51
- Roy, M. 2016. En los pasos de Zeledón: Historia de la Ornitología nacional y la Asociación Ornitológica de Costa Rica. 2nd ed. San José, Costa Rica, Asociación Ornitológica de Costa Rica: 1-177.
- Sánchez, M. P. 2018. Métodos de muestreo para el monitoreo de aves terrestres, Corredor Biológico en el Caribe. 1 ed. Santo Domingo, República Dominicana: 1-23.
- Sanz, T. 2002. Informe sobre recuperaciones de aves anilladas: recuperaciones en la Provincia de León. Argutorio, 35(1): 1–4.
- Snow, D. y Lill, A. 2016. Longevity Records for Some Neotropical Land Birds Author. University of California Press, 76(3): 262–267.
- Souza-López, O., Abreu, L. y Dente, E. 1980. Longevity of wild birds obtained during a banding program in Sao Paulo, Brazil. Journal of Field Ornithology, 51(2): 144–148. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

- Suárez-García, O., González-García, F. y Celis-Murillo, A. 2017. Revista Mexicana de Biodiversidad na en estudio de comunidades de aves de un bosque mesófilo de monta ~ temporada reproductiva. Enfermería Universitaria. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, 88(4): 880–887. doi: 10.1016/j.rmb.2017.10.029.
- Venegas, A. 2009. Anillamiento científico de aves silvestres. La Chiricoca, 8(1): 9–20. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Anillamiento+cientifico+de+aves+silvestres#4>.
- Verea, C., Díaz, M. y Solórzano, A. 2007. Longevidad de dos especies de aves del norte de Venezuela. Ornitología Neotropical, 18(3): 459–461.
- Villarán, A. 2002. El anillamiento: un método de plena vigencia para el estudio científico de las aves. Ecología, 16(1): 433–449.
- Villarán, A. 2003. Análisis de la invernada de pájaro moscón *Remiz pendulinus* en España. Ardeola, 50(2): 245–250.
- Wyatt, B., Berrett, D.G., Hanson, W.C., Bolander, G.L., Niles, D.M., Bakus, G.J., Mccaskie, R.G., Mead, R.A., Velzen, T.V. 2019. From field and study. Oxford University Press, 65(2): 163–167.

**Artículo De Revisión – Review Article****ASPECTOS RELEVANTES DE LEISHMANIAVIRUS EN AISLADOS DE  
*Leishmania spp.*****RELEVANT ASPECTS OF LEISHMANIAVIRUS IN ISOLATES OF  
*Leishmania spp.*****Armando Assair Bonilla Fong<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Programa de Maestría en Ciencias Parasitológicas. Panamá. Correo: [aabonillaf22@gmail.com](mailto:aabonillaf22@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0001-8111-2511>,

**Recepción**

08-11-2021

**Aprobación**

17-11-2022

**Resumen**

La leishmaniasis es una enfermedad vectorial causada por protozoarios del género *Leishmania* que afecta a células macrófagas del hospedero. Las complicaciones clínicas y fallas en el tratamiento se han relacionado con la presencia de un virus de ácido ribonucleico de doble cadena de la familia Totiviridae. En el nuevo mundo se encuentra exclusivamente el virus de *Leishmania* 1 y en el viejo mundo, el virus de *Leishmania* 2. Se conoce que el virus interactúa con el receptor tipo Toll 3 en las células del hospedador para estimular la producción de citoquinas proinflamatorias que resulta en la gravedad de la enfermedad y la supervivencia del parásito. Esta revisión corta explora lo observado y estudiado sobre el leishmaniovirus desde la perspectiva histórica e inmunológica.

**Palabras claves:** ácido ribonucleico, citoquinas, protozoario, respuesta inmunológica, Totiviridae.

**Abstract**

Leishmaniasis is a vectorial disease caused by protozoa of the genus *Leishmania* that affects macrophage cells of the host. Clinical complications and treatment failures have been related to the presence of a double-stranded ribonucleic acid virus of the Totiviridae family. *Leishmania* virus 1 is found exclusively in the New World and *Leishmania* virus 2 in the Old World. The virus is known to interact with Toll-like receptor 3 on host cells to stimulate the production of proinflammatory cytokines that result in on disease severity and parasite survival. This short review explores what has been observed and studied about leishmaniovirus from a historical and immunological perspective.

**Keywords:** cytokines, immune response, ribonucleic acid, protozoan, Totiviridae.

## INTRODUCCIÓN

La leishmaniasis es una enfermedad tropical desatendida transmitida por vectores causada por organismos protozoarios intracelulares obligados del género *Leishmania* (Néris et al., 2013)

Esta enfermedad se ha caracterizado por ir en aumento debido a la aparición de nuevos focos endémicos, potenciados por modificaciones de hábitos, cambio climático y la amplia gama de vectores. Se encuentra distribuida en 98 países, y aproximadamente 350 millones de personas están en riesgo de infección; se estima que entre 500 mil y 2 millones casos nuevos y 20 mil a 50 mil muertes ocurren anualmente en todo el mundo, afectando a un total de 12 millones de personas (Barrett y Croft, 2012).

Los parásitos de *Leishmania* son transmitidos a los hospedadores mediante el vector flebótomo que se alimenta de sangre y libera formas de promastigotes en el sitio de la picadura. Allí crecen dentro de las células del sistema fagocítico mononuclear, especialmente macrófagos, como formas de amastigote.

La presentación clínica depende de factores relacionados con la virulencia del parásito, la respuesta inmune y la susceptibilidad genética del hospedador, así como del sitio de las lesiones (Ashford, 2000; Mokni, 2019).

La leishmaniasis cutánea (LC) se presenta como una roncha inicial que puede volverse escamosa, aumentar de tamaño y convertirse en un nódulo con un borde grueso e indurado con ulceración central. Como secuela de la LC, la leishmaniasis mucosa (LM) es una forma de la enfermedad que afecta la nariz, boca, faringe y laringe, mientras que la leishmaniasis mucocutánea (LMC) implica lesiones tanto cutáneas como mucosas (Reithinger et al., 2007), caracterizada por lesiones intensamente inflamadas y crónicas que se esparcen a otros sitios las cuales son refractarias a terapias (Aduai et al., 2016).

Existen parásitos protozoarios que son portadores de virus endosimbiontes de ácido ribonucleico bicatenario (ARNbc). Estos virus no se replican en los hospederos vertebrados, pero su ARNbc genómico, productos génicos o viriones en los parásitos pueden activar el

sistema inmunológico, lo que lleva a complicaciones inflamatorias de la enfermedad (Mertens, 2004).

La relación endosimbionte de los virus en los parásitos de la familia Trypanosomatidae sugiere que la adquisición es antigua. Por esta razón, el entendimiento de la leishmaniasis desde el punto de vista clínico y fisiopatológico representan las bases para explicar las complicaciones de la enfermedad, así como la asociación multifactorial que existe entre el parásito, vector y hombre.

Esta revisión corta proporciona información actualizada del virus que afecta a la *Leishmania* y el impacto que genera en las especies que lo hospedan.

### **Primeros hallazgos de virus en protozoarios**

Los virus son parásitos intracelulares obligados que no tienen metabolismo propio, por lo que necesitan utilizar los recursos de sus hospedadores. Debido a su alta adaptabilidad y diversidad, se les considera los objetos biológicos más abundantes en la Tierra (Forterre, 2010).

Además, tienen una serie de mecanismos para realizar infecciones exitosas desarrolladas a lo largo de su evolución (Dreux et al., 2012). Uno de los mecanismos más estudiados es el uso del exosoma del hospedador parásito, que constituye un conjunto de vesículas extracelulares utilizadas en su biogénesis, propagación y manipulación del microambiente (Chahar et al., 2015).

Las partículas similares a virus (VLP) en protozoos parásitos se describieron por primera vez en *Entamoeba histolítica* en la década de 1960 (Miller and Swartzwelder, 1960). Posteriormente, estudios reportaron estructuras similares en muchos eucariotas unicelulares, como *Giardia lamblia*, *Trichomonas vaginalis* y miembros de la familia Trypanosomatidae, incluyendo *Leishmania spp.* y *Trypanosoma spp.*, y para algunos de ellos existen estudios que informan VLP basados en microscopía electrónica pero no por

métodos moleculares. El Comité Internacional de Taxonomy of Viruses (ICTV) reconoció solo a la familia Totiviridae (Walker et al., 2019).

Además, esta familia de virus está compuesta por cinco géneros: Giardiavirus, Leishmanivirus (LRV), Trichomonasvirus, Totivirus y Victorivirus, que según ICTV, Leishmania RNA virus 1 (LRV1) y Leishmania RNA virus 2 (LRV2) pertenecen al género Leishmanivirus y que sólo es capaz de infectar al género de *Leishmania spp.*, sin embargo, recientemente también se encontró un miembro de este género en *Blechnomonas spp.*, un tripanosomátido monoxeno que parasita pulgas (Grybchuk et al., 2018).

Este descubrimiento se basó en la observación de ARNbc provenientes de extractos de ARN celular, lo cual facilitó su hallazgo, pero también este método fue aplicado con éxito para virus de ARN monocatenario (ARNmc) (Cai et al., 2009).

El desarrollo de nuevos protocolos basado en la reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa en tiempo real (RT-qPCR) y la ultracentrifugación para la purificación viral, combina la identificación molecular con la microscopía electrónica de transmisión y tiene un potencial para facilitar en gran medida la detección viral (de Souza et al., 2014).

### **Características del leishmanivirus**

La familia Totiviridae abarca una amplia gama de virus caracterizados por viriones isométricos, que varían entre 30 a 40 nm de diámetro, cada uno de los cuales contiene una estructura no segmentada en su genoma de ARNbc y generalmente con dos marcos abiertos de lectura (ORF). El LRV es un miembro de esta familia de ARNbc de aproximadamente 5,3 kb en su genoma (Widmer & Patterson, 1991) y se conoce que las especies de LRV1 están asociada con *Leishmania (Viannia)* encontrada exclusivamente en el continente americano, mientras que LRV2 con especies de *Leishmania (Leishmania)* del Viejo Mundo (Zangger et al., 2014).

Además de la diferencia por localización de LRV, también existen en sus ORFs y hay descritos 3 de ellos. El ORF 1 se considera una secuencia de proteína preestablecida y se ha demostrado una homología significativa con proteínas conocidas, mientras que los ORF

2 y 3 codifican una proteína de la cápside (CP) y una de ARN polimerasa dependiente de ARN (RdRP), respectivamente (Tang et al., 2008). Mientras que LRV1 tiene una superposición entre las regiones que codifican la proteína de la cápside viral y la ARN polimerasa; dicha condición no se observa en LRV2 (Scheffter et al., 1994)

Este conocimiento aporta valiosa información al momento de caracterizar a las especies de Leishmanias y permite posteriormente esclarecer del posible origen de los virus.

Los ARNbc tienen también la característica de replicarse dentro de la cápside por lo que su genoma nunca está expuesto en el citoplasma de la célula, esto le confiere un mecanismo de protección y evasión tanto a la respuesta inmune del hospedero como de la acción antiviral de otras células (Maga et al., 1995).

#### **Reportes de leishmanivirus en aislados de *Leishmania* spp.**

Los virus de ARN se han descrito en una variedad de parásitos protozoarios patógenos siendo el primer registro de LRV en la cepa M4147 de *L. guyanensis* en términos moleculares en 1988 (Tarr et al., 1988), y cuatro años más tarde se completó su secuenciación (Stuart, 1992).

En las regiones de América Central y del Sur, estudios basados en análisis de hibridación, se definieron doce tipos de LRV1 (LRV1-1–LRV1-12) (Guilbride et al., 1992), y se detectó que este LRV1 puede infectar a cepas del complejo *L. Viannia* como es el caso de *L. (V.) guyanensis*, *L. (V.) braziliensis*, *L. (V.) panamensis*, *L. (V.) lainsoni* y del complejo de *L. Mexicana* a *L. amazonensis* (Cantanhêde et al., 2015; Kariyawasam et al., 2017).

No obstante, la comparación de dos regiones genómicas de siete tipos de LRV llevó a la descripción de dos nuevos tipos, LRV1-13 y LRV1-14, detectados en cepas de *L. braziliensis* aisladas de pacientes humanos en Bolivia (Widmer y Dooley, 1995).

Por un tiempo se relacionó que la distribución geográfica y presencia de LRV1 sólo estaba restringida a la cuenca del Amazonas, a pesar de que la *L. braziliensis* había sido identificada en otras regiones del continente americano. Por lo que, un estudio de Oliveira

Ramos Pereira et al. (2013), evaluó muestras clínicas de *L. braziliensis* en el sureste de Brasil, resultando negativas a LRV1.

Más tarde, un estudio de Kariyawasam et al. (2019), detectaron una cepa de *L. guyanensis* positiva para LRV1 lo que refuerza hallazgos recientes de circulación de LRV fuera de la cuenca del Amazonas. Así mismo, Parra-Muñoz et al. (2021), reportaron la presencia de LRV1 en Colombia a partir de muestras clínicas de pacientes con leishmaniasis cutánea.

### **Interacción inmunológica entre el leishmaniavirus y *Leishmania* spp.**

A diferencia de las bacterias y los hongos, los protozoarios del género *Leishmania* son conocidos como inmunológicamente silenciosos, ya que estos parásitos inhiben y contienen un número bajo de moléculas que desencadenen fuertemente una respuesta inmune (Olivier y Zamboni, 2020).

La patogénesis de la enfermedad comienza con una compleja interacción de muchos factores debido a la respuesta inmune innata y adquirida del hospedador, siendo los macrófagos las células dianas del parásito. Esta interacción es mediada por las células T auxiliares tipo 1 (Th1) que también previene que la infección sea crónica y latente. La respuesta está caracterizada por la secreción de citoquinas proinflamatorias (Scott, 2005).

Cuando un protozoario tiene el virus, ha quedado demostrado que el ARNbc interactúa con los receptores tipo Toll-3 (TLR3) para estimular la producción de interferón beta (IFN-  $\beta$ ), una citoquina proinflamatoria que conduce a la inflamación crónica y a la supervivencia del parásito (Hartley et al., 2014).

Estudios realizados por Saberi et al. (2019), indican que existe una alta prevalencia de LRV entre los aislados de *Leishmania* spp. del Nuevo Mundo y que este virus está probablemente asociado con lesiones metastásicas de la enfermedad.

Los LRV confieren una ventaja para el parásito al suprimir la inmunidad antileishmanial en el hospedero vertebrado (Brettmann et al., 2016), ya que puede actuar como un inmunomodulador a través de la interacción entre su genoma de ARNbc y TLR3 del

hospedador que conduce a una mayor expresión de citoquinas y quimioquinas proinflamatorias (Ives et al., 2011).

De igual manera, se ha demostrado que la activación de TLR3 por ARNbc viral también conduce a la fosforilación de una proteína quinasa B que facilita la supervivencia y proliferación de macrófagos infectados complicando las manifestaciones clínicas de la enfermedad (Eren et al., 2016).

Estas complicaciones no sólo se asocian a la presencia del LRV en el parásito, al producir hiperinflamación destructiva en el hospedador que resulta en la gravedad de la enfermedad y la diseminación del parásito (Hartley et al., 2014), sino que también se correlaciona con la carga viral en los parásitos (Zangger et al., 2013).

Algunos estudios utilizan células del linaje monocítico humano y han demostrado que el LRV-1 infectando a *L. (V.) braziliensis* es capaz de disminuir la producción de citoquinas Th1 y aumentar las citoquinas Th2, lo que se relaciona con un pobre control inmunológico y una mayor severidad de la enfermedad (Kariyawasam et al., 2020).

### **¿Cómo se transmite el LRV-1 de un parásito a otro?**

Los ensayos realizados por Atayde et al. (2019), demostraron, mediante análisis bioquímicos y microscopía electrónica, que los exosomas del parásito transportan ARNbc de LRV-1; así mismo, sus ensayos con modelos murinos revelaron que los parásitos recién infectados con LRV-1 mediante exosomas generan lesiones más graves en comparación con los no infectados.

### **CONCLUSIÓN**

La comprensión de la fisiopatología de la leishmaniasis y la relación endosimbiótica entre el parásito *Leishmania* con el leishmanivirus representan las bases que conducen a la aplicación de mejores estrategias para la prevención y el control de la enfermedad. En este sentido, las investigaciones enfocadas en demostrar lo que ocurre en la infección cuando el virus está presente determina el desarrollo de nuevas terapias farmacológicas e inmunológicas.

Por último, es fundamental el reporte de lo que se conoce hasta el momento de este virus dado su alto potencial de mutación, evasión de los mecanismos de defensas y el establecimiento del parásito de forma crónica y agresiva en el hospedador.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adaui, V., Lye, L. F., Akopyants, N. S., Zimic, M., Llanos-Cuentas, A., Garcia, L., Maes, I., de Doncker, S., Dobson, D. E., Arevalo, J., Dujardin, J. C., & Beverley, S. M. (2016). Association of the endobiont double-stranded RNA virus LRV1 with treatment failure for human leishmaniasis caused by leishmania braziliensis in Peru and Bolivia. *Journal of Infectious Diseases*, 213(1), 112–121. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiv354>
- Atayde, V. D., da Silva Lira Filho, A., Chaparro, V., Zimmermann, A., Martel, C., Jaramillo, M., & Olivier, M. (2019). Exploitation of the Leishmania exosomal pathway by Leishmania RNA virus 1. *Nature Microbiology*, 4(4), 714–723. <https://doi.org/10.1038/s41564-018-0352-y>
- Barrett, M. P., & Croft, S. L. (2012). Management of trypanosomiasis and leishmaniasis. In *British Medical Bulletin* (Vol. 104, Issue 1, pp. 175–196). <https://doi.org/10.1093/bmb/lds031>
- Brettmann, E. A., Shaik, J. S., Zangger, H., Lye, L. F., Kuhlmann, F. M., Akopyants, N. S., Oswald, D. M., Owens, K. L., Hickerson, S. M., Ronet, C., Fasel, N., & Beverley, S. M. (2016). Tilting the balance between RNA interference and replication eradicates Leishmania RNA virus 1 and mitigates the inflammatory response. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(43), 11998–12005. <https://doi.org/10.1073/pnas.1615085113>
- Cai, G., Myers, K., Hillman, B. I., & Fry, W. E. (2009). A novel virus of the late blight pathogen, *Phytophthora infestans*, with two RNA segments and a supergroup 1 RNA-dependent RNA polymerase. *Virology*, 392(1), 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.06.040>
- Cantanhêde, L. M., da Silva Júnior, C. F., Ito, M. M., Felipin, K. P., Nicolete, R., Salcedo, J. M. V., Porrozi, R., Cupolillo, E., & Ferreira, R. de G. M. (2015). Further Evidence of an Association between the Presence of Leishmania RNA Virus 1 and the Mucosal Manifestations in Tegumentary Leishmaniasis Patients. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 9(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004079>
- Chahar, H. S., Bao, X., & Casola, A. (2015). Exosomes and their role in the life cycle and pathogenesis of RNA viruses. In *Viruses* (Vol. 7, Issue 6, pp. 3204–3225). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/v7062770>
- de Oliveira Ramos Pereira, L., Maretti-Mira, A. C., Rodrigues, K. M., Lima, R. B., de Oliveira-Neto, M. P., Cupolillo, E., Pirmez, C., & de Oliveira, M. P. (2013). Severity of tegumentary leishmaniasis is not exclusively associated with Leishmania RNA virus 1 infection in Brazil.

*Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 108(5), 665–667. <https://doi.org/10.1590/0074-0276108052013021>

de Souza, M. M., Manzine, L. R., da Silva, M. V. G., Bettini, J., Portugal, R. V., Cruz, A. K., Arruda, E., & Thiemann, O. H. (2014). An improved purification procedure for Leishmania RNA virus (LRV). In *Brazilian Journal of Microbiology* (Vol. 45, Issue 2). <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014000200044>

Dreux, M., Garaigorta, U., Boyd, B., Décembre, E., Chung, J., Whitten-Bauer, C., Wieland, S., & Chisari, F. v. (2012). Short-range exosomal transfer of viral RNA from infected cells to plasmacytoid dendritic cells triggers innate immunity. *Cell Host and Microbe*, 12(4), 558–570. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2012.08.010>

Eren, R. O., Reverte, M., Rossi, M., Hartley, M. A., Castiglioni, P., Prevel, F., Martin, R., Desponds, C., Lye, L. F., Drexler, S. K., Reith, W., Beverley, S. M., Ronet, C., & Fasel, N. (2016). Mammalian Innate Immune Response to a Leishmania-Resident RNA Virus Increases Macrophage Survival to Promote Parasite Persistence. *Cell Host and Microbe*, 20(3), 318–328. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2016.08.001>

Forterre, P. (2010). Defining Life: The Virus Viewpoint. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 40(2), 151–160. <https://doi.org/10.1007/s11084-010-9194-1>

Grybchuk, D., Akopyants, N. S., Kostygov, A. Y., Konovalovas, A., Lye, L. F., Dobson, D. E., Zangger, H., Fasel, N., Butenko, A., Frolov, A. O., Votýpka, J., D'Avila-Levy, C. M., Kulich, P., Moravcová, J., Plevka, P., Rogozin, I. B., Serva, S., Lukeš, J., Beverley, S. M., & Yurchenko, V. (2018). Viral discovery and diversity in trypanosomatid protozoa with a focus on relatives of the human parasite Leishmania. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(3), E506–E515. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717806115>

Guilbride, L., Myler, P. J., & Stuart, K. (1992). Distribution and sequence divergence of LRV1 viruses among different Leishmania species. In *Molecular and Biochemical Parasitology* (Vol. 54, Issue 1). [https://doi.org/10.1016/0166-6851\(92\)90099-6](https://doi.org/10.1016/0166-6851(92)90099-6)

Hartley, M. A., Drexler, S., Ronet, C., Beverley, S. M., & Fasel, N. (2014). The immunological, environmental, and phylogenetic perpetrators of metastatic leishmaniasis. In *Trends in Parasitology* (Vol. 30, Issue 8, pp. 412–422). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2014.05.006>

Ives, A., Ronet, C., Prevel, F., Ruzzante, G., Fuertes-Marraco, S., Schutz, F., Zangger, H., Revaz-Breton, M., Lye, L. F., Hickerson, S. M., Beverley, S. M., Acha-Orbea, H., Launois, P., Fasel, N., & Masina, S. (2011). Leishmania RNA virus controls the severity of mucocutaneous leishmaniasis. *Science*, 331(6018), 775–778. <https://doi.org/10.1126/science.1199326>

Kariyawasam, R., Grewal, J., Lau, R., Pursell, A., Valencia, B. M., Llanos-Cuentas, A., & Boggild, A. K. (2017). Influence of Leishmania RNA Virus 1 on Proinflammatory Biomarker

Expression in a Human Macrophage Model of American Tegumentary Leishmaniasis. *Journal of Infectious Diseases*, 216(7), 877–886. <https://doi.org/10.1093/infdis/jix416>

Kariyawasam, R., Lau, R., Valencia, B. M., Llanos-Cuentas, A., & Boggild, A. K. (2020). Leishmania RNA Virus 1 (LRV-1) in leishmania (viannia) braziliensis isolates from Peru: A description of demographic and clinical correlates. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 102(2), 280–285. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.19-0147>

Kariyawasam, R., Mukkala, A. N., Lau, R., Valencia, B. M., Llanos-Cuentas, A., & Boggild, A. K. (2019). Virulence factor RNA transcript expression in the Leishmania Viannia subgenus: Influence of species, isolate source, and Leishmania RNA virus-1. *Tropical Medicine and Health*, 47(1). <https://doi.org/10.1186/s41182-019-0153-x>

Maga, J. A., Widmer, G., & LeBowitz, J. H. (1995). Leishmania RNA virus 1-mediated cap-independent translation. In *Molecular and Cellular Biology* (Vol. 15, Issue 9). <https://doi.org/10.1128/mcb.15.9.4884>

Mertens, P. (2004). The dsRNA viruses. *Virus Research*, 101(1), 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2003.12.002>

Miller, J. H., & Swartzwelder, J. C. (1960). Virus-like Particles in an Entamoeba histolytica Trophozoite. In *The Journal of Parasitology* (Vol. 46, Issue 4). <https://doi.org/10.2307/3275152>

Mokni, M. (2019). Cutaneous leishmaniasis. In *Annales de Dermatologie et de Venereologie* (Vol. 146, Issue 3, pp. 232–246). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.annder.2019.02.002>

Néris, P. L. N., Caldas, J. P. A., Rodrigues, Y. K. S., Amorim, F. M., Leite, J. A., Rodrigues-Mascarenhas, S., Barbosa-Filho, J. M., Rodrigues, L. C., & Oliveira, M. R. (2013). Neolignan Licarin A presents effect against Leishmania (Leishmania) major associated with immunomodulation in vitro. *Experimental Parasitology*, 135(2), 307–313. <https://doi.org/10.1016/j.exppara.2013.07.007>

Olivier, M., & Zamboni, D. S. (2020). Leishmania Viannia guyanensis, LRV1 virus and extracellular vesicles: a dangerous trio influencing the faith of immune response during mucocutaneous leishmaniasis. In *Current Opinion in Immunology* (Vol. 66, pp. 108–113). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.coi.2020.08.004>

Parra-Muñoz, M., Aponte, S., Ovalle-Bracho, C., Saavedra, C. H., & Echeverry, M. C. (2021). detection of leishmania RNA virus in clinical samples from cutaneous leishmaniasis patients varies according to the type of sample. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 104(1), 233–239. <https://doi.org/10.4269/AJTMH.20-0073>

Reithinger, R., Dujardin, J. C., Louzir, H., Pirmez, C., Alexander, B., & Brooker, S. (2007). Cutaneous leishmaniasis. In *Lancet Infectious Diseases* (Vol. 7, Issue 9, pp. 581–596). [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(07\)70209-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(07)70209-8)

- Saberi, R., Fakhar, M., Mohebbali, M., Anvari, D., & Gholami, S. (2019). Global status of synchronizing Leishmania RNA virus in Leishmania parasites: A systematic review with meta-analysis. In *Transboundary and Emerging Diseases* (Vol. 66, Issue 6, pp. 2244–2251). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/tbed.13316>
- Scheffter, S., Widmer, G., & Patterson, J. L. (1994). Complete Sequence of Leishmania RNA Virus 1-4 and Identification of Conserved Sequences. In *Virology* (Vol. 199, Issue 2, pp. 479–483). <https://doi.org/10.1006/viro.1994.1149>
- Scott, P. (2005). Immunologic memory in cutaneous leishmaniasis. In *Cellular Microbiology* (Vol. 7, Issue 12, pp. 1707–1713). <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2005.00626.x>
- Stuart, K. D., Weeks, R., Guilbride, L., & Myler, P. J. (1992). Molecular organization of Leishmania RNA virus 1. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89(18), 8596–8600. <https://doi.org/10.1073/pnas.89.18.8596>
- Tang, J., Ochoa, W. F., Sinkovits, R. S., Poulos, B. T., Ghabrial, S. A., Lightner, D. v., Baker, T. S., & Nibert, M. L. (2008). Infectious myonecrosis virus has a totivirus-like, 120-subunit capsid, but with fiber complexes at the fivefold axes. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 105, Issue 45). <https://doi.org/10.1073/pnas.0806724105>
- Tarr, P. I., Aline, R. F., Smiley, B. L., Scholler, J., Keithly, J., & Stuart, K. (1988). LR1: A candidate RNA virus of Leishmania. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 85, Issue 24). <https://doi.org/10.1073/pnas.85.24.9572>
- Tsirigotakis, N., Pavlou, C., Christodoulou, V., Dokianakis, E., Kourouniotis, C., Alten, B., Antoniou, M., Tsirigotakis, N., Christodoulou, V., Poulakakis, N., Antoniou, M., Engel, P., Moran, N. A., Sunter, J., Gull, K., BLUM, J. J., Marayati, B. F., Schal, C., Ponnusamy, L., ... Bates, P. A. (2018). Chapter 7 – Reduviid Predators. In *Parasites and Vectors* (Vol. 3, Issue 1). <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1261-z>
- Walker, P. J., Siddell, S. G., Lefkowitz, E. J., Mushegian, A. R., Dempsey, D. M., Dutilh, B. E., Harrach, B., Harrison, R. L., Hendrickson, R. C., Junglen, S., Knowles, N. J., Kropinski, A. M., Krupovic, M., Kuhn, J. H., Nibert, M., Rubino, L., Sabanadzovic, S., Simmonds, P., Varsani, A., ... Davison, A. J. (2019). Changes to virus taxonomy and the International Code of Virus Classification and Nomenclature ratified by the International Committee on Taxonomy of Viruses (2019). *Archives of Virology*, 164(9), 2417–2429. <https://doi.org/10.1007/s00705-019-04306-w>
- Widmer, G., & Dooley, S. (1995). Phylogenetic analysis of Leishmania RNA virus and leishmania suggests ancient virus-parasite association. In *Nucleic Acids Research* (Vol. 23, Issue 12). <https://doi.org/10.1093/nar/23.12.2300>
- Widmer, G., & Patterson, J. L. (1991). Genomic structure and RNA polymerase activity in Leishmania virus. In *Journal of Virology* (Vol. 65, Issue 8). <https://doi.org/10.1128/jvi.65.8.4211-4215.1991>

Zangger, H., Ronet, C., Desponds, C., Kuhlmann, F. M., Robinson, J., Hartley, M. A., Prevel, F., Castiglioni, P., Pratlong, F., Bastien, P., Müller, N., Parmentier, L., Saravia, N. G., Beverley, S. M., & Fasel, N. (2013). Detection of Leishmania RNA Virus in Leishmania Parasites. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 7(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002006>

Artículo de revisión  
Adaptación y mecanismo de la glándula salina

## ADAPTACIÓN Y MECANISMO DE LA GLÁNDULA SALINA EN AVES MARINAS

### ADAPTATION AND MECHANISM OF THE SALT GLAND IN SEA BIRDS

César Abdiel Amaya-Rodríguez, José Pompilio Young Castillo

<sup>1</sup> Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Departamento de Fisiología y Comportamiento Animal. Panamá. e-mail: [cesar.amaya@up.ac.pa](mailto:cesar.amaya@up.ac.pa); [josep.young@up.ac.pa](mailto:josep.young@up.ac.pa)  
<https://orcid.org/0000-0003-1916-573X> ; <https://orcid.org/0000-0002-0832-4347>

Autor de correspondencia: [cesar.amaya@up.ac.pa](mailto:cesar.amaya@up.ac.pa)

**Recepción**

02-08-2022

**Aprobación**

19-11-2022

#### Resumen

Las glándulas salinas han permitido a las aves marinas afrontar el gran reto fisiológico de vivir en ambientes costeros donde cuentan con poca disponibilidad de agua dulce. Esta adaptación al medio salino ha permitido a las aves marinas ingerir agua del mar sin afectar su equilibrio osmótico. En este artículo de revisión se abordó desde el origen evolutivo, su anatomía, la función de la bomba  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPasa}$  y el contransportador  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-2Cl}^-$  involucrados en el mecanismo celular para eliminar las altas concentraciones de los iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en el plasma sanguíneo a través de la glándula salina, la regulación mediante los receptores muscarínicos acoplados a proteína G, del péptido instestinal vasoactivo.

**Palabras claves:** Aves marinas, glándula salina,  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPasa}$ ,  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-2Cl}^-$ , osmorregulación.

#### Abstract

Salt glands have allowed seabirds to face the great physiological challenge of living in coastal environments where there is little freshwater available. This adaptation to the saline environment has allowed seabirds to ingest sea water without affecting their osmotic balance. In this article, the evolutionary origin, its anatomy, the function of the  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$  pump and the  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-2Cl}^-$  countertransporter involved in the cellular mechanism to eliminate the high concentrations of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  ions in the blood plasma through the saline gland, the regulation by the G protein-coupled muscarinic receptors of the vasoactive intestinal peptide, and the regulation by the G protein-coupled muscarinic receptors of the vasoactive intestinal peptide were discussed.

**Key words:** Seabirds, salt gland,  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ ,  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-2Cl}^-$ , osmoregulation.

## Introduction

Water plays a fundamental role in living beings, it represents 70% of body weight; its consumption is important in homeostasis processes and in the ionic balance of animals (Minieri, 1979; Woodin et al., 2008). Particularly seabirds and other vertebrates are osmoregulatory organisms; maintaining blood concentrations of 250-300 mOsm/L (Gutiérrez et al., 2015) allowing the different cells to perform their functions in a stable manner. The search for freshwater in seabirds can be complicated when freshwater is limited, so dehydration could be an important survival factor (Randall et al., 1998). Throughout evolutionary history, seabirds have adapted to the saline environment because they can ingest seawater due to their osmoregulatory mechanism through salt glands (Sabat, 2000). This mechanism compensates for the limited capacity of avian renal physiology to produce concentrated or hyperosmotic urine. For this reason, a bibliographic review of the adaptation of salt glands in seabirds is carried out and the cellular mechanism that operates in these glands is described.

For the search of information on the adaptation of the salt gland in seabirds, primary sources of original articles published in journals such as: American Journal of Physiology, Journal of General Physiology, Journal of Comparative Physiology, Journal of Experimental Biology, Comparative Physiology and Biochemistry, Endocrinology, among others, were used; in the secondary sources, search engines such as Google Scholar, NCBI and finally tertiary sources such as specialized text books were used. To optimize the search for information, keywords such as Birds, Salt glands, osmoregulation were used, and it was decided to use the English language because most of the literature is written in this language.

## Background

The first recorded studies on salt glands are the work done by Jacobson in 1813, where he compared them with Stenson's gland in the nasal cavity of mammals. Jobert in 1869 was the first to demonstrate that in birds there are two pairs of salt glands, using ducks as an experimental model. By the end of the 19th century several researchers (Nitzsch, 1820; Kolliker, 1860; Ganin, 1890; Gadow, 1890) claimed that the saline gland had a link with the

vemeronasal or Jacobson's organ, while Born, (1879) and Mihalkovics, (1898) claimed that the saline gland had no relationship with Jacobson's organ, This conflict had its outcome with the investigations of Cohn, (1903) using chicken embryos, who concluded that the internal duct of the saline gland does not resemble the Jacobson's organ in its development, therefore, there is no relation with the Jacobson's organ.

However, the first studies on the function of the salt gland date back to the early 20th century, where Marples (1932) suggested that, seabirds obtained water through their feeding, meanwhile; Murphy in his work on seabirds in South America in 1936, was one of the first researchers to mention that seabirds can drink seawater, a question that remained until the 1950s and was resolved when the function of the salt gland was described (Schmidt-Nielsen and Fänge, 1958) which is responsible for secreting excess NaCl in seabirds when ingesting seawater (Fänge, et al., 1958; Doyle, 1960; Schmidt-Nielsen, 1960).

### **Evolutionary origin of the salt gland**

The salt gland is currently found in five taxa: crocodylians, turtles, snakes, lizards, and occur in about 40 families in birds and in almost all orders, with the exception of the order Passeriformes (Peaker and Linzell, 1975; Hackett et al., 2008; Scanes, 2015). Several authors suggest that this structure has evolved in multiple times, curiously there are similarities in the location of the gland, in the position of the duct and the possible embryological origin of the five existing groups, it is hypothesized that the salt glands were present in the ancestor of all diapsids (Fernández and Gasparini, 2000; Babonis and Brischoux, 2012).

Wang et al. (2018) mention that there are records of salt glands in extinct birds from the Early Cretaceous, around 125 million years ago, located in the supraorbital fossa of the reported taxa (*Hesperornis regalis* and *Parahesperornis alexi*) from the Late Cretaceous.

### **Salt gland anatomy**

The position of the salt gland, mostly in pelagic seabirds with estuarine habitats, is located supra- or infra-orbitally (Ibañez et al., 2010); they are more developed in cormorants,

herring gulls, gannets, pelicans, albatrosses and penguins (Reshag et al., 2016); with the size being directly proportional to the NaCl concentrations to which it is subjected (Woodin et al., 2008; Reshag et al., 2016).

Histological studies have shown that saline gland cells undergo hypertrophy by increasing their cell size (Benson and Phillips, 1964; Peaker, 1973; Reshag et al., 2016; Ali and Reshag, 2021). Schmidt-Nielsen and Fange (1958) indicate that the salt gland of the Brown Pelican (*Pelecanus occidentalis*, Linnaeus, 1766) (Pelecanidae) is oblong or pear-shaped with a length of 2.6-3 cm and a width of 0.6-0.8 cm. Another example is in flamingos (*Phoenicopterus roseus*, Pallas, 1811) (Phoenicopteridae), where the salt gland is approximately  $20.8 \pm 0.2$  mm long and  $3.9 \pm 0.2$  mm in diameter, with a weight of  $0.56 \pm 0.3$  g, these values are matched by the salt gland of the domestic duck (*Anas platyrhynchos*, Linnaeus, 1758) (Anatidae) (Reshag et al., 2016).

### Mechanism

Most studies following the description of saline gland function have been by administering large concentrations of NaCl. Fletcher et al. (1967) mention, in their experiments with male Pekin ducks (*Anas platyrhynchos*, Linnaeus, 1758) (Anatidae), that the salt gland utilizes active  $\text{Na}^+$  transport with a release of inorganic phosphate from ATP, however, in freshwater adapted ducks the activation of this mechanism was not high. Both Fletcher, et al. (1967) and Holmes and Stewart (1968) indicate that there is a two to six-fold increase in the normal size of the normal gland which allows them to increase NaCl secretion. Several studies have shown that ducks exposed to hypertonic solution increase the activity of  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$  (NKA) pumps, NKA is found in large numbers in the basolateral membrane of salt gland cells, resulting in the passive secretion of  $\text{Cl}^-$  (Thesleff and Schmidt-Nielsen, 1962; Karlsson et al., 1971; Stewart et al., 1975; Cramp et al., 2010; El-Gohary et al., 2013). On the other hand, the  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-2Cl}^-$  cotransporter (NKCC2), (Fig. 1) in the basolateral membrane actively moving  $\text{Cl}^-$  ions from the blood into the cell, while in the apical membrane of the cells the secretion of  $\text{Cl}^-$  occurs, the secretion of  $\text{Na}^+$  is given by the paracellular pathway employing the electrochemical gradient, this ionic movement

across the membrane allows the secretion of high concentrations of NaCl into the lumen of the tubule of the salt gland (Shuttleworth, 1995; Cramp et al., 2010; Scanes, 2015).

The activation of the saline gland mechanism leads to the secretion of fluids out of the organism, these fluids are composed of various ions and salts in different concentrations, being  $K^+$  and  $Cl^-$  the most excreted compounds by the saline gland (Table 1); in experiments on domestic ducks it is suggested that their tears can excrete a considerable amount of  $K^+$  cations, however, it is not clarified (*A. platyrhynchos*) osmoregulatory capacity is unclear (Hughes and Ruch Jr, 1969; Peaker and Linzell, 1975) .

### Regulation

The first investigations into how the salt gland is regulated were in experiments by Fänge et al. (1958) (Brown Pelican); Fletcher et al. (1967) (*A. platyrhynchos*) and Kühnel, (1972) (in geese, ducks and swans). They indicate that the nerves controlling the salt gland are parasympathetic in nature. Osmoreceptors located in the heart were thought to be responsible for regulating the salt gland, being activated when there is an increase in plasma tonicity (Schmidt-Nielsen, 1960; Hanwell et al., 1972; Stewart et al., 1975; Hootman and Ernst, 1980; Butler, 2007). However, the hypothesis of the role of osmoreceptors was refuted in experiments on *A. platyrhynchos* (Gerstberger et al., 1984a,b), meanwhile other studies a modulatory role of osmoreceptors in extracellular volume changes produced by osmotic stress is proposed (Hammel et al., 1980). It is now known that the secretory response is regulated by two signaling pathways: 1). Activation of **G protein-coupled muscarinic receptors**, subtype Gq in saline gland cells, intracellularly increases diacylglycerol (DAG) activating protein kinase (PKC) and inositol trisphosphate (IP3) which promotes  $Ca^{2+}$  release, both second messengers are involved in the regulation of NaCl secretion, cell growth and differentiation; 2). **G-protein-coupled vasoactive intestinal peptide** (VIP), subtype Gs stimulates adenylyl cyclase generating cyclic adenosine monophosphate (cAMP) which activates cAMP-dependent protein (PKA), involved in saline gland secretion and increased blood flow to the saline gland (Shuttleworth and Hildebrandt, 1999; Hildebrandt, 2001; Krohn and Hildebrandt, 2004).

The role of **angiotensin II** hormone (ANG II) in avian physiology has been extensively studied, as it inhibits the saline gland due to its  $\text{Na}^+$  conserving function, stimulates aldosterone production, while participating in the release of arginine vasotocin, and antidiuretic hormone, also stimulates water intake (Holmes et al., 1961; Crocker et al., 1971; Gerstberger et al., 1984; Gray et al., 1986; Heinz et al., 2001; Butler et al., 2006); in experiments in Pekin ducks, serum arginine-vasotocin hormone (AVT), has been shown to induce antidiuresis and is involved in afferent and central control of osmoregulation (Simon-Oppermann et al., 1980). The regulation of adaptive hypertrophy of the saline gland is provided by cholinergic nerves (Hanwell and Peaker, 1975). Studies in *A. platyrhynchos* on atrial natriuretic peptide (ANP) demonstrated an important role in the maintenance of salt and fluid balance in birds, this is because they promote diuresis, natriuresis and ANP has been documented to be an antagonist of the renin-angiotensin-aldosterone system (Gray et al., 1991ab, 1991a; Schütz et al., 1992; Marais and Gray, 2009).

It was thought (Ching et al., 1999) that the hormone melatonin (MT) had an inhibitory effect on salt gland secretion in Pekin ducks but not in gulls, however, studies by Hughes, et al. (2007) propose an osmoregulatory role in birds with salt glands as it increases urinary  $\text{Na}^+$  concentrations; Müller et al. (2006) in their experiments with *A. platyrhynchos* describe the expression of aquaporins (AQP1 and AQP5) in different salt gland cells involved in the production of hypertonic fluid. A basal increase of the hormone corticosterone has been reported in birds that possess salt glands, different researchers suggest that the increase may be due to the energy expenditure that birds must make to excrete the elevated levels of salt in the body and the osmotic stress faced by the environment where they live (Gutiérrez et al., 2011; Brischoux et al., 2015).

### **Studies with the salt gland**

Currently, salt gland investigations are focused as a model to study the dynamics of NKA in active ion transport through different techniques such as: Fourier transform infrared spectroscopy (Pratap et al., 2003), coupled fluorescence enzyme assays (Pratap et al., 2009) and total internal reflection fluorescence microscopy ((Pratap et al., 2011). These studies have focused on the conformational changes ( $E1$ ) of NKA induced by ATP, the

kinetics of ATP hydrolysis by the ATPase enzyme, isolated with the Cy3-melaimide compound, given through negative cooperativity has been elucidated (Pratap et al., 2003; Pratap et al., 2009; Pratap et al., 2011). Studies have also been conducted on the kinetic properties of NKA, with the aim of explaining whether the functional unit of the ATPase enzyme is a protomer- $\alpha\beta$  (Martin et al., 2000) or an oligomer, the latter being the most accepted at present (Taniguchi et al., 2001; Clarke et al., 2007). In addition, research has been conducted focusing on the sensitivity of NKA in reduction-oxidation changes, which is possibly determined by glutathionylation (Petrushanko et al., 2012; Dergousova et al., 2017; Dergousova et al., 2018).

### Conclusions

The cellular mechanism involved in the secretion of high concentrations of NaCl through salt glands is mainly by activity of NKA and NKCC2 cotransporter located in the basolateral membrane. Due to their phylogeny, seabirds have been able to adapt to saline environments and consume seawater while maintaining the constancy of the internal environment.

**Author contributions:** Conceptualization, Amaya, C.; methodology, Amaya, C. and Young, J.; validation, Amaya, C. and Young, J.; formal analysis, Amaya, C. and Young, J.; research, Amaya, C. and Young, J.; writing - preparation of the original draft, Amaya, C. and Young, J.; writing - proofreading and editing, Amaya, C. and Young, J.; supervision, Young, J. All authors have read and accepted the published version of the manuscript.

**Funding:** This research did not receive external funding.

**Conflicts of Interest:** The authors declare that they have no conflicts of interest.

### Bibliographical references

- Ali, M. A., and Reshag, A. F. (2021). Morphometrical and histological changes in domestic duck salt glands in response to salinated water. *Plant Archives*, 21(1), 338–342. <https://doi.org/https://doi.org/10.51470/>
- Babonis, L. S., and Brischoux, F. (2012). Perspectives on the convergent evolution of

- tetrapod salt glands. *Integrative and Comparative Biology*, 52(2), 245–256. <https://doi.org/10.1093/icb/ics073>
- Benson, G. K., and Phillips, J. G. (1964). Observations on the Histological Structure of the Supraorbital (Nasal) Glands From Saline-Fed and Freshwater-Fed Domestic Ducks (*Anas Platyrhynchus*). *Journal of Anatomy*, 98(4), 571–578.
- Born. (1879). Die Nasenhöhlen und die Theäennasengang der amnioten Wirbeltiere. *Morph. Jahrb.*, 2(5).
- Brischoux, F., Lendvai, Á. Z., Bókony, V., Chastel, O., and Angelier, F. (2015). Marine lifestyle is associated with higher baseline corticosterone levels in birds. *Biological Journal of the Linnean Society*, 115(1), 154–161. <https://doi.org/10.1111/bij.12493>
- Butler, D. G., Lam, W., and Tong, J. (2006). ANG II-induced attenuation of duck salt gland secretion does not depend upon the release of adrenal catecholamines. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 176(1), 35–43. <https://doi.org/10.1007/s00360-005-0029-8>
- Butler, D. G. (1987). Adrenalectomy fails to block salt gland secretion in Pekin ducks (*Anas platyrhynchos*) adapted to 0.9% saline drinking water. *General and Comparative Endocrinology*, 66(2), 171–181. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(87\)90265-6](https://doi.org/10.1016/0016-6480(87)90265-6)
- Butler, D. G. (2007). ANG II-induced attenuation of salt gland function in Pekin ducks is not catecholamine-dependent. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 177(7), 733–742. <https://doi.org/10.1007/s00360-007-0170-7>
- Ching, A. C. T., Hughes, M. R., Poon, A. M., and Pang, S. F. (1999). Melatonin receptors and melatonin inhibition of duck salt gland secretion. *General and Comparative Endocrinology*, 116(2), 229–240. <https://doi.org/10.1006/gcen.1999.7362>
- Clarke, R. J., and Kane, D. J. (2007). Two gears of pumping by the sodium pump. *Biophysical Journal*, 93(12), 4187–4196. <https://doi.org/10.1529/biophysj.107.111591>

- Cohn, F. (1903). Zur Entwicklungsgeschichte des Geruchs. *Archiv Für Mikroskopische Anatomie*, 61, 133.
- Cramp, R. L., Hudson, N. J., and Franklin, C. E. (2010). Activity, abundance, distribution and expression of Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup>-ATPase in the salt glands of *Crocodylus porosus* following chronic saltwater acclimation. *Journal of Experimental Biology*, 213(8), 1301–1308. <https://doi.org/10.1242/jeb.039305>
- Crocker, A. D., and Holmes, W. N. (1971). Intestinal absorption in ducklings (*Anas platyrhynchos*) maintained on fresh water and hypertonic saline. *Comp. Biochem. Physiol.*, 4, 203–211. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0300-9629\(71\)90161-7](https://doi.org/10.1016/0300-9629(71)90161-7)
- Dergousova, E. A., Petrushanko, I. Y., Klimanova, E. A., Mitkevich, V. A., Ziganshin, R. H., Lopina, O. D., and Makarov, A. A. (2017). Effect of reduction of redox modifications of cys-residues in the Na,K-ATPase  $\alpha$ 1-subunit on its activity. *Biomolecules*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.3390/biom7010018>
- Dergousova, E. A., Poluektov, Y. M., Klimanova, E. A., Petrushanko, I. Y., Mitkevich, V. A., Makarov, A. A., and Lopina, O. D. (2018). Glutathionylation of Na,K-ATPase Alpha-Subunit Alters Enzyme Conformation and Sensitivity to Trypsinolysis. *Biochemistry (Moscow)*, 83(8), 969–981. <https://doi.org/10.1134/S0006297918080084>
- Doyle, W. L. (1960). The principal cells of the salt-gland of marine birds. *Experimental Cell Research*, 21(2), 386–393. [https://doi.org/10.1016/0014-4827\(60\)90270-6](https://doi.org/10.1016/0014-4827(60)90270-6)
- El-Gohary, Z. M., El-Sayad, F. I., Hassan, H. A., and Hamoda, A. M. M. (2013). The Functional Alterations of the Avian Salt Gland Subsequent to Osmotic Stress. *The Egyptian Journal of Hospital Medicine*, 51(April), 346–360. <https://doi.org/10.12816/0000851>
- Fänge, R., Schmidt-Nielsen, K., and Robinson, M. (1958). Control of Secretion From the Avian Salt Gland. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 195(2), 321–326. [https://doi.org/https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1958.195.2.321](https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1958.195.2.321)

- Fernández, M., and Gasparini, Z. (2000). Salt glands in a Tithonian metriorhynchid crocodyliform and their physiological significance. *Lethaia*, 33(4), 269–276. <https://doi.org/10.1080/002411600750053835>
- Fletcher, G. L., Stainer, I. M., and Holmes, W. N. (1967). Sequential changes in the adenosinetriphosphatase activity and the electrolyte excretory capacity of the nasal glands of the duck (*Anas platyrhynchos*) during the period of adaptation to hypertonic saline. *Journal of Experimental Biology*, 47(3), 375–391.
- Gadow, H. (1890). Description of the modification of certain organs. The stomach of the ostrich. *Zoologische Jahrbuch*, 5, 641–644.
- Ganin, M. (1890). Einige Thatsachen zur Frage über das Jacobsonsche Organ der Vögel. *Zool. Anz.*, 13, 285–287.
- Gerstberger, R., Gray, D. A., and Simon, E. (1984). Circulatory and osmoregulatory effects of angiotensin II perfusion of the third ventricle in a bird with salt glands. *Journal of Physiology*, 349(1), 167–182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1113/jphysiol.1984.sp015150>
- Gerstberger, R., Simon-Oppermaun, C., and Kaul, R. (1984). Cephalic osmoreceptor control of salt gland activation and inhibition in the salt adapted duck. *Journal of Comparative Physiology B*, 154(5), 449–456. <https://doi.org/10.1007/BF02515149>
- Gerstberger, R., Simon, E., and Gray, D. A. (1984). Salt gland and kidney responses to intracerebral osmotic stimulation in salt- and water-loaded ducks. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 16(6). <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1984.247.6.r1022>
- Gray, D. A., Hammel, H. T., and Simon, E. (1986). Osmoregulatory effects of angiotensin II in a bird with salt glands (*Anas platyrhynchos*). *Journal of Comparative Physiology B*, 156(3), 315–321. <https://doi.org/10.1007/BF01101093>
- Gray, D. A., Schütz, H., and Gerstberger, R. (1991a). Interaction of atrial natriuretic factor

- and osmoregulatory hormones in the Pekin duck. *General and Comparative Endocrinology*, 81(2), 246–255. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(91\)90009-U](https://doi.org/10.1016/0016-6480(91)90009-U)
- Gray, D. A., Schütz, H., and Gerstberger, R. (1991b). Plasma atrial natriuretic factor responses to blood volume changes in the pekin duck. *Endocrinology*, 128(3), 1655–1660. <https://doi.org/10.1210/endo-128-3-1655>
- Gutiérrez, J. S., Masero, J. A., Abad-Gómez, J. M., Villegas, A., and Sánchez-Guzmán, J. M. (2011). Understanding the energetic costs of living in saline environments: Effects of salinity on basal metabolic rate, body mass and daily energy consumption of a long-distance migratory shorebird. *Journal of Experimental Biology*, 214(5), 829–835. <https://doi.org/10.1242/jeb.048223>
- Hackett, S. J., Kimball, R. T., Reddy, S., Bowie, R. C., Braun, E. L., Braun, M. J., ... and Yuri, T. (2008). A phylogenomic study of birds reveals their evolutionary history. *Science*, 320(5884), 1763–1768. <https://doi.org/10.1126/science.1157704>
- Hammel, H. T., Simon-Oppermann, C. H. R. I. S. T. A., and Simon, E. (1980). Properties of body fluids influencing salt gland secretion in Pekin ducks. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 8(3). <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1980.239.5.r489>
- Hanwell, A., and Peaker, M. (1975). The control of adaptive hypertrophy in the salt glands of geese and ducks. *The Journal of Physiology*, 248(1), 193–205. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1975.sp010969>
- Hanwell, A., Linzell, J. L., and Peaker, M. (1972). Nature and location of the receptors for salt-gland secretion in the goose. *J Physiol*, 226(2), 453–472. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1972.sp009993>
- Heinz, M. K., and Gray, D. A. (2001). Role of plasma ANG II in the excretion of acute sodium load in a bird with salt glands (*Anas platyrhynchos*). *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 281(1), 346–351. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.2001.281.1.r346>

- Hildebrandt, J. P. (2001). Coping with excess salt: Adaptive functions of extrarenal osmoregulatory organs in vertebrates. *Zoology*, 104(3–4), 209–220. <https://doi.org/10.1078/0944-2006-00026>
- Holmes, W., and Stewart, D. J. (1968). Changes in the nucleic acid and protein composition of the nasal glands from the duck (*Anas platyrhynchos*) during the period of adaptation to hypertonic saline. *Journal of Experimental Biology*, 48(3), 509–519.
- Holmes, W. N., Phillips, J. G., and Butler, D. G. (1961). The effect of adrenocortical steroids on the renal and extra-renal responses of the domestic duck (*Anas platyrhynchos*) after hypertonic saline loading. *Endocrinology*, 69(3), 483–495. <https://doi.org/10.1210/endo-69-3-483>
- Hootman, S. R., and Ernst, S. A. (1980). Dissociation of avian salt gland: separation procedures and characterization of dissociated cells. *American Journal of Physiology - Cell Physiology*, 7(3), 184–195. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1980.238.5.c184>
- Hughes, M. R., and Ruch Jr, F. E. (1969). Sodium and potassium in spontaneously produced salt gland secretion and tears of ducks, *Anas platyrhynchos*, acclimated to fresh and saline waters. *Canadian Journal of Zoology*, 47(6), 1133–1138. <https://doi.org/10.1139/z69-177>
- Ibañez, L. M., Tambussi, C. P., and Acosta Hospitaleche, C. I. A. (2010). Análisis morfométrico del surco nasal en aves. *Ornitología Neotropical*, 21(2), 181–194.
- Jacobson, L. (1813). Anatomisk beskrivelse over et nyt organ i huusdyrenes naese. *Veter Salesk Skrift*, 2, 209–246.
- Jobert, C. (1869). *Recherches anatomiques sur les glandes nasales des oiseaux...*
- Karlsson, K. A., Samuelsson, B. E., and Steen, G. O. (1971). Lipid pattern and Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-dependent adenosine triphosphatase activity in the salt gland of duck before and after adaptation to hypertonic saline. *The Journal of Membrane Biology*, 5(2), 169–184. <https://doi.org/10.1007/BF02107722>

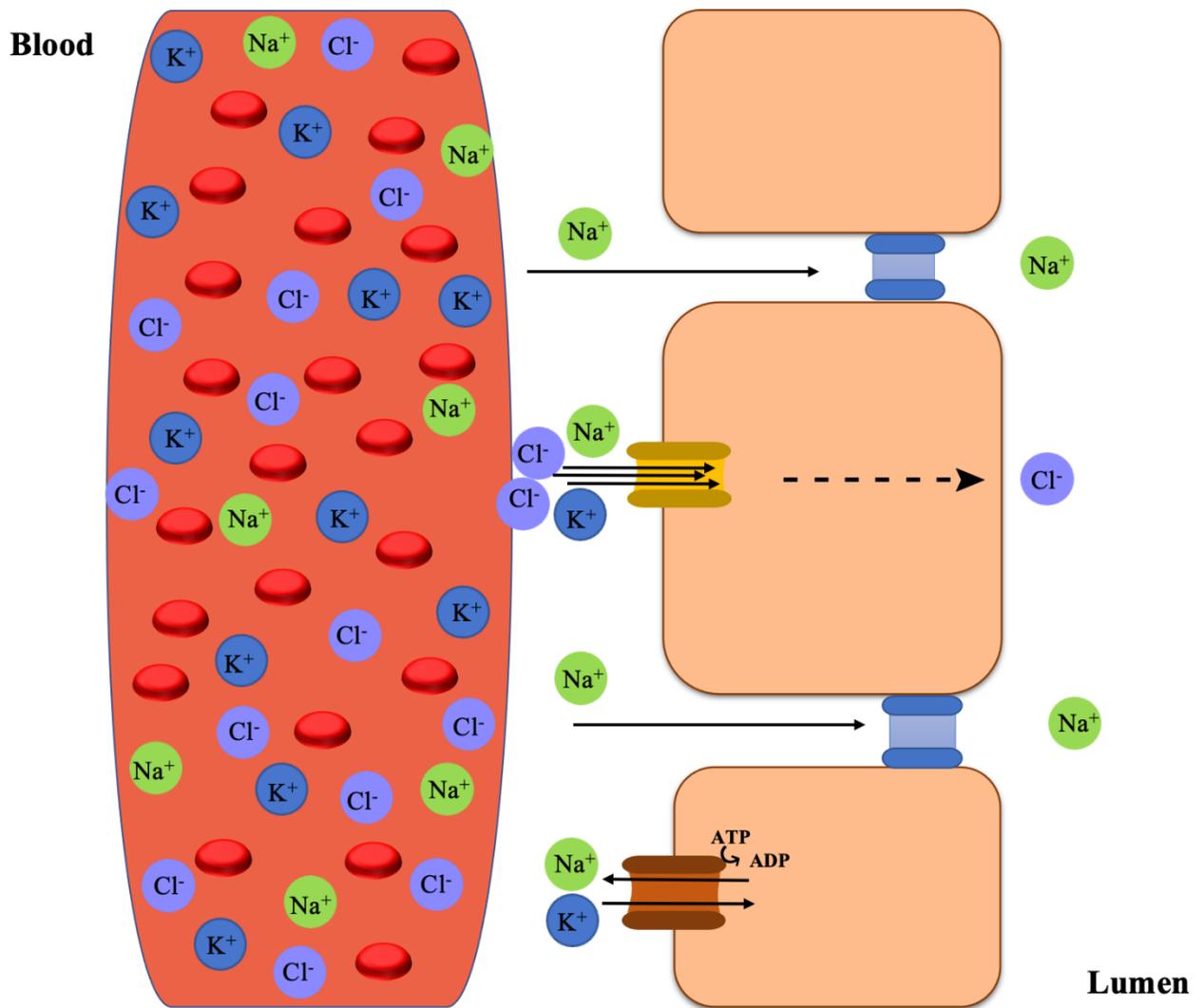
- Kolliker, R. V. (1860). A manual of microscopic anatomy. *London: Parker*.
- Krohn, M., and Hildebrandt, J.-P. (2004). Cross-talk of phosphoinositide- and cyclic nucleotide-dependent signaling pathways in differentiating avian nasal gland cells. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 174(6), 461–470. <https://doi.org/10.1007/s00360-004-0432-6>
- Kühnel, W. (1972). On the innervation of the salt gland. *Zeitschrift Für Zellforschung Und Mikroskopische Anatomie*, 134(3), 435–438. <https://doi.org/10.1007/BF00307177>
- Marais, M., and Gray, D. A. (2009). A role for natriuretic peptide in lipopolysaccharide-induced fever in Pekin ducks (*Anas platyrhynchos*): Is natriuretic peptide an endogenous antipyretic in birds? *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 179(2), 125–132. <https://doi.org/10.1007/s00360-008-0295-3>
- Marples, B. J. (1932). The Structure and Development of the Nasal Glands of Birds. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 102(4), 829–844. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1932.tb01565.x>
- Martin, D. W., Marecek, J., Scarlata, S., and Sachs, J. R. (2000).  $\alpha\beta$  protomers of  $\text{Na}^+, \text{K}^+$ -ATPase from microsomes of duck salt gland are mostly monomeric: Formation of higher oligomers does not modify molecular activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(7), 3195–3200. <https://doi.org/10.1073/pnas.050558397>
- Mihalkovics. (1898). Nasenhöhl und Jacobson'sches Organ. Eine morphologisch Studie. *Anat. Hefte*, 11(1).
- Müller, C., Sendler, M., and Hildebrandt, J. P. (2006). Downregulation of aquaporins 1 and 5 in nasal gland by osmotic stress in ducklings, *Anas platyrhynchos*: Implications for the production of hypertonic fluid. *Journal of Experimental Biology*, 209(20), 4067–4076. <https://doi.org/10.1242/jeb.02491>

- Murphy, R. C. (1936). Oceanic birds of South America. *The American Museum of Natural History*, 2, 1–6.
- Nitzsch, C. L. (1820). Über die Nasendrüse der Vögel. *Archiv Physiol. (Meckel's Archiv)*, 6, 234–269.
- Peaker, M. & Linzell, J. L. (1975). Salt glands in birds and reptiles. In *Monographs of the Physiological Society* (Issue 32). Monogr Physiol Soc. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dZk8AAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Peaker+and+Linzell+\(1975\).&ots=B7BHiSoLVO&sig=Q-osl7fsOD6WI1vcJYK-6eF8KyQ#v=onepage&q=Peaker+and+Linzell+\(1975\).&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dZk8AAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Peaker+and+Linzell+(1975).&ots=B7BHiSoLVO&sig=Q-osl7fsOD6WI1vcJYK-6eF8KyQ#v=onepage&q=Peaker+and+Linzell+(1975).&f=false)
- Peaker, A. and H. M. (1973). The control of adaptive hypertrophy in the salt glands of geese and ducks. *The Journal of Physiology*, 248(1), 193–205.
- Petrushanko, I. Y., Yakushev, S., Mitkevich, V. A., Kamanina, Y. V., Ziganshin, R. H., Meng, X., ... and Bogdanova, A. (2012). S-glutathionylation of the Na,K-ATPase catalytic  $\alpha$  subunit is a determinant of the enzyme redox sensitivity. *Journal of Biological Chemistry*, 287(38), 32195–32205. <https://doi.org/10.1074/jbc.M112.391094>
- Pratap, P. R., Dediu, O., and Nienhaus, G. U. (2003). FTIR Study of ATP-Induced Changes in Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase from Duck Supraorbital Glands. *Biophysical Journal*, 85(6), 3707–3717. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(03\)74787-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(03)74787-0)
- Pratap, P. R., Heiss, G., Sikor, M., Lamb, D. C., and Burnett, M. (2011). Single-Molecule Studies of the Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase. *Biophysical Journal*, 100(3), 464a. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2010.12.2724>
- Pratap, P. R., Mikhaylyants, L. O., and Olden-Stahl, N. (2009). Fluorescence measurements of nucleotide association with the Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase. *Biochimica et Biophysica Acta - Proteins and Proteomics*, 1794(11), 1549–1557. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2009.06.023>
- Randall, D. J., Burggren, W. W. French, K. and Eckert, R. (1998). *Eckert fisiología animal:*

Capítulo 14. Equilibrio iónico y osmótico (4 edition).

- Reshag, A. F., Abood, D. A., and Dawood, M. S. (2016). Anatomical and histological study of the kidneys and salt glands in great flamingos (*Phoenicopterus roseus*). *The Iraqi Journal of Veterinary Medicine*, 40(1), 140–146. <https://doi.org/10.30539/iraqijvm.v40i1.151>
- Sabat, P. (2000). Birds in marine and saline environments: living in dry habitats. In *Revista chilena de historia natural* (Vol. 73, Issue 3). <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2000000300004>
- Scanes, C. (2015). Sturkie's Avian Physiology. In *Chapter 12 - Osmoregulatory Systems of Birds* (6 edition). Academic Pres.
- Schmidt-Nielsen, K., and Fange, R. (1958). The Function of the Salt Gland in the Brown Pelican. *American Ornithologists' Union*, 75(3), 282–289. <https://doi.org/10.2307/4081974>
- Schmidt-Nielsen, K. (1960). The salt-secreting gland of marine birds. *Circulation*, 21, 955–967. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.21.5.955>
- Schütz, H., Gray, D. A., and Gerstberger, R. (1992). Modulation of kidney function in conscious Pekin ducks by atrial natriuretic factor. *Endocrinology*, 130(2), 678–684. <https://doi.org/https://doi.org/10.1210/endo.130.2.1310279>
- Shuttleworth, T. J., and Hildebrandt, J. P. (1999). Vertebrate salt glands: Short- and long-term regulation of function. *Journal of Experimental Zoology*, 283(7), 689–701. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-010X\(19990601\)283:7<689::AID-JEZ7>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(19990601)283:7<689::AID-JEZ7>3.0.CO;2-T)
- Shuttleworth, T. J. (1995). *Intracellular Signals Controlling Ionic and Acid-Base Regulation in Avian Nasal Gland Cells*. In: Heisler N. (eds) *Mechanisms of Systemic Regulation: Acid—Base Regulation, Ion-Transfer and Metabolism*. Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-52363-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-52363-2_5)
- Simon-Oppermann, C., Simon, E., Deutsch, H., Möhring, J., and Schoun, J. (1980). Serum

- arginine-vasotocin (AVT) and afferent and central control of osmoregulation in conscious Pekin ducks. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 387(2), 99–106. <https://doi.org/10.1007/BF00584259>
- Stewart, D. J., Semple, E. W., Swart, G. T., and Sen, A. K. (1975). Induction of the catalytic protein of (Na<sup>++</sup> K<sup>+</sup>)-ATPase in the salt gland of the duck. *Biochimica et Biophysica Acta*, 419, 150–163. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0005-2736\(76\)90379-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0005-2736(76)90379-5)
- Taniguchi, K., Kaya, S., Abe, K., and Mårdh, S. (2001). The oligomeric nature of Na/K-transport ATPase. *Journal of Biochemistry*, 129(3), 335–342. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a002862>
- Thesleff, S., and Schmidt-Nielsen, K. (1962). An electrophysiological study of the salt gland of the herring gull. *The American Journal of Physiology*, 202, 597–600. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1962.202.3.597>
- Wang, X., Huang, J., Hu, Y., Liu, X., Peteya, J., and Clarke, J. A. (2018). The earliest evidence for a supraorbital salt gland in dinosaurs in new Early Cretaceous ornithurines. *Scientific Reports*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22412-8>
- Woodin, M. C., Michot, T. C., and Lee, M. C. (2008). Salt gland development in migratory redheads (*Aythya Americana*) in saline environments on the winter range, Gulf of Mexico, USA. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 54(SUPPL.1), 251–264.



**Fig. 1** The  $\text{Na}^+$ -  $\text{K}^+$ -  $2\text{Cl}^-$  cotransporter located in the basolateral membrane of salt gland epithelium cells is responsible for secreting high concentrations of  $\text{NaCl}$  from the blood into the nasal passages of seabirds.

Table 1. Composition and concentration of fluids excreted through the salt gland.

<i>Fluid composition</i>	<i>Concentration [mmol l<sup>-1</sup>]</i>
<i>K<sup>+</sup></i>	718
<i>Na<sup>+</sup></i>	24
<i>Ca<sup>++</sup></i>	1
<i>Mg<sup>++</sup></i>	1
<i>Cl</i>	720
<i>NaHCO<sub>3</sub></i>	13
<i>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></i>	0,35

**DISTRIBUCIÓN DE *PELECINUS POLYTURATOR* (DRURY, 1773)  
(HYMENOPTERA: PROCTOTRUPOIDEA: PELECINIDAE) EN LA REGIÓN  
OCCIDENTAL, PANAMÁ**

**DISTRIBUTION OF *PELECINUS POLYTURATOR* (DRURY, 1773)  
(HYMENOPTERA: PROCTOTRUPOIDEA: PELECINIDAE) IN THE  
WESTERN REGION, PANAMA**

**Rubén D. Collantes G.<sup>1</sup>, Alonso Santos-Murgas<sup>2</sup>, Javier E. Pittí C.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá / Universidad de Panamá, FCA. Panamá.

Correo: [rdcg31@hotmail.com](mailto:rdcg31@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-6094-5458>

<sup>2</sup>Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Panamá.

Panamá. Correo: [santosmurgasa@gmail.com](mailto:santosmurgasa@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-9339-486X>

<sup>3</sup>Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. Panamá.

Correo: [pittjavier28@hotmail.com](mailto:pittjavier28@hotmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-0776-8795>

**Recepción**

14-08-2022

**Aprobación**

22-11-2022

**Resumen:** *Pelecinus polyturator* (Drury, 1773) (Hymenoptera: Proctotrupeoidea: Pelecinidae), es una de las tres especies conocidas del único género que constituye dicha familia. Es fácilmente reconocible por su color negro brillante, su largo y esbelto metasoma, pudiendo alcanzar una longitud total del cuerpo de 7 cm. La especie está reportada en América, desde Canadá hasta Argentina. Su importancia radica en que ha sido referida como parasitoide de larvas y pupas de algunos Scarabaeidae (Coleoptera); en especial del género *Phyllophaga*, conocidos como gallina ciega, que son plaga en diversos cultivos. En la región occidental de Panamá, se concentra la mayor producción de frutas y vegetales frescos para abastecer el mercado nacional; pero se suelen encontrar larvas de *Phyllophaga* afectando los cultivos. El objetivo del presente trabajo es actualizar la distribución conocida de *Pelecinus polyturator* en esta parte del país. Para ello, se levantó un registro de observaciones en campo, desde noviembre de 2021 hasta agosto de 2022. Se realizaron recorridos aleatorios en ocho localidades de la Provincia de Chiriquí y una localidad de la Comarca Ngäbe-Buglé (CNB). Complementariamente, se revisaron bases de datos sobre reportes previos de la especie en Panamá. De acuerdo con los resultados, *P. polyturator* estuvo presente en todas las localidades de estudio; confirmandose su presencia en los Distritos de Boquete, Tierras Altas y Renacimiento, Chiriquí y ampliando su distribución conocida para la CNB. El primer registro de *P. polyturator* en Panamá es de 1914 (Chiriquí); además de contarse con reportes de Darién, Panamá, Veraguas y Guna Yala.

**Palabras clave:** Chiriquí, Comarca Ngäbe-Buglé, distribución, Parasitoide, *Phyllophaga*.

**Abstract:** *Pelecinus polyturator* (Drury, 1773) (Hymenoptera: Proctotrupeoidea: Pelecinidae), is one of the three known species of the only genus that constitutes this family. It is easily recognizable by its shiny black color, its long and slender metasoma, and can reach a total body length of 7 cm. The species is reported in America, from Canada to Argentina. Its importance lies in the fact that it has been referred to as a parasitoid of larvae and pupae of some Scarabaeidae (Coleoptera); especially of the genus *Phyllophaga*, known as may beetles, which are pests in various crops. In the western region of Panama, the largest production of fresh fruits and vegetables is concentrated to supply the national market; but *Phyllophaga* larvae are usually found affecting crops. The objective of this work is to update the known distribution of *Pelecinus polyturator* in this part of the country. To do this, a record of field observations was made, from November 2021 to August 2022. Random trips were carried out in eight locations of the Chiriquí Province and one location of the Ngäbe-Buglé Comarca (CNB). In addition, databases on previous reports of the species in Panama were reviewed. According to the results, *P. polyturator* was present in all the study locations; confirming its presence in the Districts of Boquete, Tierras Altas and Renacimiento, Chiriquí and expanding its distribution known to the CNB. The first record of *P. polyturator* in Panama is from 1914 (Chiriquí); in addition to reports from Darien, Panama, Veraguas and Guna Yala.

**Keywords:** Chiriquí, distribution, Ngäbe-Buglé Comarca, Parasitoid, *Phyllophaga*.

## Introducción

La familia Pelecinidae (Hymenoptera: Proctotrupeoidea), son los proctotrípidos más grandes; con una longitud total del cuerpo entre 20 y 70 mm, pudiendo variar en función del hospedante (Arias-Penna, 2003). Esta familia está constituida por un único género, *Pelecinus* Latreille, el cual posee una amplia distribución en América, desde Canadá hasta Argentina. Johnson y Musetti (1999), realizaron una revisión del género *Pelecinus*, reconociendo tres especies e indicando que, los especímenes colectados en México, América Central y el norte de América del Sur (Colombia y Venezuela), se concentran en áreas de elevación moderada (generalmente entre 1000 y 3000 m s. n. m.). Además, los autores precisaron que los individuos son muy comunes en las montañas de Ecuador, Perú y Bolivia, en el bosque costero Atlántico del sureste de Brasil y al norte de Argentina.

*Pelecinus polyturator* (Drury, 1773), es la única especie del género conocida para Panamá. Johnson y Musetti (1999), revisaron especímenes colectados en Darién, Panamá, Veraguas y Chiriquí; brindando los siguientes detalles para facilitar el diagnóstico: Cabeza y cuerpo negro brillante; carina occipital rodea completamente la cabeza, alcanzando las mandíbulas; alas variablemente infuscadas. Adicionalmente, los autores precisaron que, en zonas tropicales están presentes ambos sexos y en zonas templadas predominan las hembras; fenómeno denominado partenogénesis geográfica.

Arias-Penna (2003), precisó que, *P. polyturator* ha sido reportado como endoparásitoide cenobionte solitario de *Phyllophaga anxia* (LeConte), *P. inversa* (Horn), *P. drakei* Kirby, *P. rugosa* (Melsheimer) (Coleoptera: Scarabaeidae: Melolonthinae); *Podischnus agenor* Olivier (Coleoptera: Scarabaeidae: Dynastinae). Por su parte, Ayala y Monterroso (1998), refieren al menos cuatro especies de *Phyllophaga* (gallina ciega), para Panamá: *P. menetriesi* (Blanchard), en elevaciones entre 500 y 1800 m s. n. m., con fuerte presencia en declives volcánicos, donde puede haber alta densidad en pasturas y cafetales; *P. obsoleta* (Blanchard), en altitud superior a los 100 m. s. n. m., puede ser una plaga importante en cultivos de papa y hortalizas a elevaciones mayores; *P. vicina* (Moser), desde la costa del Océano Pacífico hasta 1500 m s. n. m., puede ser plaga de maíz, pero afecta mayormente pasturas; y *P. chiriquina* (Bates), una especie de importancia secundaria.

La región occidental de Panamá, comprende zonas de importancia estratégica para la producción de rubros agropecuarios, de los cuales el 70% son destinados para su consumo en la ciudad capital (MIDA, 2018). Muchas de estas áreas están situadas en pisos altitudinales que superan los 1000 m. s. n. m. Sumado a ello, esta región también cuenta con reservas naturales con elevaciones montañosas en dicho rango altitudinal, que han servido para desarrollar estudios sobre control biológico de insectos, en especial Hymenoptera parasitoides (Santos-Murgas y Collantes, 2021).

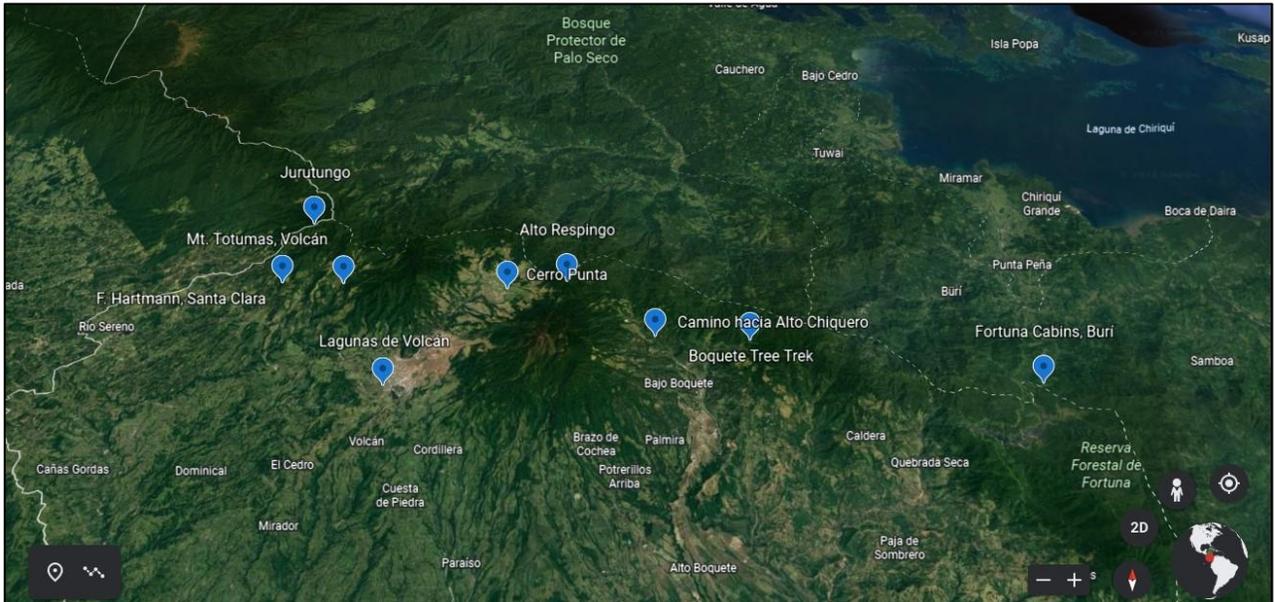
Herrera et al. (2021), caracterizaron las fincas hortícolas de Cerro Punta, Tierras Altas, Chiriquí; principal zona productora de estos rubros, con una elevación cercana a 2000 m s. n. m. y suelos volcánicos del Orden Andisol. Los autores encontraron que, el 23% de los productores encuestados, solicitaron capacitarse en control de plagas. Collantes (2021), mencionó entre las especies del orden Lepidoptera, que son plagas frecuentes en cultivos hortícolas, a la gallina ciega (*Phyllophaga* sp.). Seguidamente, Collantes et al. (2022), reportaron la presencia de *Pelecinus polyturator* en cercas vivas de ciprés, próximas a cultivos hortícolas en Cerro Punta. Por lo expuesto, el objetivo del presente estudio fue actualizar la distribución conocida de *P. polyturator* en la región occidental de Panamá.

## Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en nueve localidades de la región occidental de Panamá, correspondientes a ocho de la Provincia de Chiriquí y una de la Comarca Ngäbe-Buglé (CNB); las cuales fueron georreferenciadas con ayuda de un GPS (Tabla 1, Figura 1). La investigación es de naturaleza descriptiva y exploratoria, realizándose para ello recorridos aleatorios, desde finales de noviembre de 2021 (inicio de la estación seca) hasta agosto de 2022 (mediados de la estación lluviosa), en un rango altitudinal entre 500 y 2700 m s. n. m.; tomando como referencia los trabajos de Johnson y Musetti (1999), Lara y Periotto (2014) y Sousa et al. (2020). Se registraron las observaciones en campo y se fotografió a *Pelecinius polyturator* en las localidades de estudio. Complementariamente, se revisaron bases de datos, para confirmar los reportes de *P. polyturator* en Panamá (OSU, 2022; STRI, 2022).

**Tabla 1.** Localidades de estudio. Fuente: Elaboración propia.

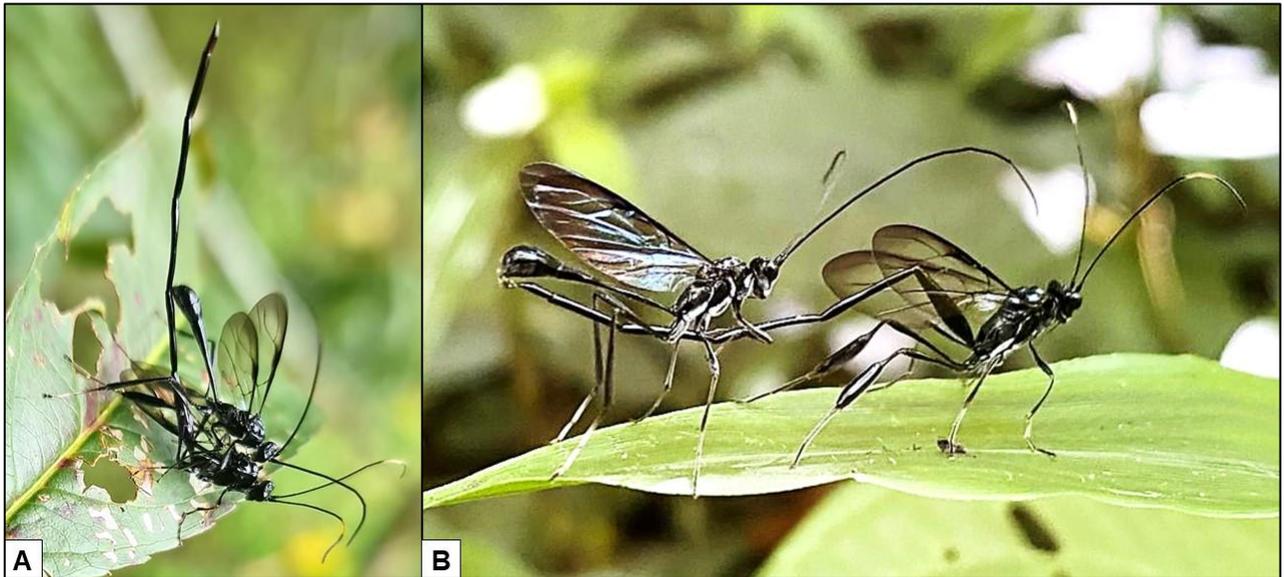
Provincia / Comarca	Localidad	Coordenadas	Altitud (m s. n. m.)
CNB	Fortuna Cabins, Burí	8°47'38"N 82°11'19"O	521
Chiriquí	Boquete Tree Trek	8°48'35"N 82°23'44"O	1646
	Hacia Alto Chiquero	8°48'53"N 82°27'48"O	1384
	Cerro Punta	8°51'13"N 82°34'16"O	1949
	Alto Respingo	8°51'20"N 82°31'38"O	2670
	Lagunas de Volcán	8°46'27"N 82°39'12"O	1379
	Mount Totumas	8°51'40"N 82°41'39"O	1639
	Jurutungo	8°54'55"N 82°43'24"O	2275
	Finca Hartmann	8°51'45"N 82°44'25"O	1654



**Figura 1.** Ubicación de las localidades de estudio (azul). Fuente: Google Earth (2022).

## Resultados

De acuerdo con los resultados, se encontró a la especie *Pelecinius polyturator* (Drury, 1773) (Hymenoptera: Proctotrupoidea: Pelecinidae), en todas las áreas de estudio, frecuentemente en comportamientos de cortejo y cópula (Figura 2). Se confirma su presencia en los Distritos de Boquete, Tierras Altas y Renacimiento, Provincia de Chiriquí. Además, se reporta por primera vez la especie en la CNB, específicamente en Burí.



**Figura 2.** Macho y hembra de *Pelecinus polyturator* observados: A) Cortejo; B) Cópula.

### Discusión

STRI (2022), cuenta con 10 reportes de *Pelecinus polyturator* para Panamá, todos ellos de la Provincia de Chiriquí, específicamente de los Distritos de Boquete (Los Naranjos), Renacimiento (Santa Clara), Gualaca (Reserva Fortuna) y Tierras Altas (Volcán, antes pertenecía al Distrito de Bugaba). Esto confirma lo encontrado durante el desarrollo del presente estudio. Sumado a esto, Ayala y Monterroso (1998), situaron la mayoría de especies de *Phyllophaga* reportadas para Panamá, en altitudes que superan los 1000 m s. n. m.; lo cual resulta interesante, al recordar que *P. polyturator* ha sido referido como endoparásitoide cenobionte solitario de otras especies de *Phyllophaga* (Arias-Penna, 2003). Además, el hecho de haber encontrado frecuentemente parejas del insecto en cortejo y cópula, reafirma lo señalado por Johnson y Musetti (1999), respecto a que, en zonas tropicales, se suele encontrar ambos sexos; lo cual también podría estar relacionado con la disponibilidad de hospedantes. Sin embargo, se requieren estudios en mayor detalle sobre eficacia de parasitismo de *P. polyturator* sobre larvas y pupas de *Phyllophaga* spp., bajo las condiciones de la región occidental de Panamá.

De acuerdo con OSU (2022) (Tabla 2), el primer registro que se tiene de *Pelecinus polyturator* en Panamá, data de 1914 en la Provincia de Chiriquí; siendo además la provincia con el mayor número de reportes de dicha especie durante casi un siglo (121 reportes). Adicionalmente, en dicha base de datos también se reporta a *P. polyturator* en Panamá, Panamá Oeste, Darién, Veraguas y la Comarca Kuna Yala (actualmente, Guna Yala). La posible explicación de los avistamientos y colectas de *Pelecinus polyturator* en las demás provincias del país, es debido a que Panamá cuenta con zonas montañosas en varias regiones, como Cerro Pirre (Darién), Cerro Azul (Panamá), Cerro Campana (Panamá Oeste), Santa Fe (Veraguas) y la Cordillera de San Blas (Guna Yala). Sumado a ello, los detalles de la información de colecta no son tan precisos, lo cual en muchos casos dificulta el poder establecer con precisión la posible localidad por provincia.

**Tabla 2.** Reportes de *Pelecinus polyturator* en Panamá, 1914 – 2003. Fuente: OSU (2022).

Provincia / Comarca	Número de reportes	Fecha del primer reporte
Chiriquí	121	1914
Panamá	4	19/junio/1945
Panamá Oeste	4	26/mayo/1971
Darién	1	06/junio/1996
Veraguas	2	mayo/1935
Guna Yala	1	11/junio/1953

Los resultados obtenidos situarían a *Pelecinus polyturator* en un rango altitudinal entre 500 y 2700 m s. n. m. en la región occidental de Panamá; similar a lo observado por Sousa et al. (2020), quienes revisaron especímenes colectados en El Triunfo, Chiapas, México (2100 m s. n. m.), Santa Clara, Renacimiento, Chiriquí, Panamá (1200 m s. n. m.) y Alagoas, Brasil (400 m s. n. m.). Esto también concuerda con Johnson y Musetti (1999), respecto a que *Pelecinus* se concentra en elevaciones entre 1000 y 3000 m. s. n. m. Por su parte, Lara y Periotto (2014), señalaron que, cerca del 95% de los especímenes estudiados fueron colectados cerca de los 1000 m s. n. m. Además, se requieren estudios sobre

Proctotrupeoidea en mayor detalle; similar al trabajo sobre la familia Braconidae, realizado por Rodríguez y Medianero (2022), en parches boscosos de tierras bajas en Panamá.

### **Conclusiones**

Del presente estudio, se puede concluir que, *Pelecinus polyturator* (Drury, 1773) (Hymenoptera: Proctotrupeoidea: Pelecinidae), se encuentra ampliamente distribuido en la región occidental de Panamá, en un rango altitudinal entre 500 y 2700 m s. n. m.; reportándose por primera vez su presencia en Burí, CNB. Adicionalmente, se pudo confirmar que *P. polyturator* está presente en otras partes del país, como Darién, Panamá, Panamá Oeste, Veraguas y Guna Yala; en las cuales también se tienen zonas montañosas. Se espera que a futuro se desarrollen investigaciones en mayor detalle, en especial sobre la eficacia del parasitismo de *P. polyturator* sobre larvas y pupas de *Phyllophaga* spp.; dado que, el conocimiento que se pueda generar sobre entomofauna benéfica e interacciones tróficas en el ecosistema, brinda mayores luces al momento de implementar alternativas de manejo de plagas insectiles, en especial en áreas de importancia estratégica para el país, como la región occidental.

**Contribución de los Autores:** Conceptualización, R. Collantes y A. Santos-Murgas; metodología, R. Collantes; validación de especímenes, A. Santos-Murgas; investigación, R. Collantes, A. Santos-Murgas y J. Pittí; recursos, R. Collantes, A. Santos-Murgas y J. Pittí; curación de datos, R. Collantes, A. Santos-Murgas y J. Pittí; redacción – preparación del borrador original, R. Collantes, A. Santos-Murgas y J. Pittí; redacción – revisión y edición, R. Collantes y A. Santos-Murgas. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

**Financiamiento:** Esta investigación no recibió financiamiento externo.

**Agradecimientos:** Al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) y al Museo de Invertebrados G. B. Fairchild de la Universidad de Panamá (MIUP), por el apoyo brindado a los autores de la presente investigación.

**Conflictos de Intereses:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### Referencias

**Arias-Penna, T. (2003).** Lista de géneros y especies de la superfamilia Proctotrupeoidea (Hymenoptera) de la región Neotropical. *Biota Colombiana*, 4(1), 3-32. <https://www.redalyc.org/pdf/491/49140101.pdf>

**Ayala, J., y Monterroso, L. (1998).** Aspectos básicos sobre la biología de la gallina ciega. Manual para técnicos 2. Convenio CAC – UE / ALA 88 / 23. Programa Regional de Reforzamiento a la Investigación Agronómica sobre los granos en Centroamérica. 32 p. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/14812/CDCR21030618e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Collantes, R. (2021).** Gusano cortador (*Agrotis ipsilon*) que afecta los cultivos de hortalizas en Cerro Punta, Chiriquí, Panamá. Folleto No. 1, Proyecto de Investigación e Innovación en el Manejo del Cultivo de Cebolla en Tierras Altas, Chiriquí. IDIAP, Estación Experimental de Cerro Punta, Chiriquí – Panamá. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.19587.02086>

**Collantes, R., Pittí, J., Santos-Murgas, A., Caballero, M., y Jerkovic, M. (2022).** *Oligonychus ununguis* (Acari: Tetranychidae): plaga del ciprés (*Cupressus lusitanica* mill.) en Tierras Altas, Chiriquí, Panamá. *Revista Investigaciones Agropecuarias*, 4(2), 21-30. [https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones\\_agropecuarias/article/view/2924](https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias/article/view/2924)

**Google Earth. (2022).** Consultado el 14 de agosto de 2022. <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>

**Herrera, R., Collantes, R., Caballero, M., y Pittí, J. (2021).** Caracterización de fincas hortícolas en Cerro Punta, Chiriquí, Panamá. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(4), 200-209. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2021.329>

- Johnson, N., y Musetti, L. (1999).** Revision of the proctotrupoid genus *Pelecinius* Latreille (Hymenoptera: Pelecinidae). *Journal of Natural History*, 33(10), 1513-1543. <https://doi.org/10.1080/002229399299879>
- Lara, R., y Perioto, N. (2014).** Seasonality of *Pelecinius polyturator* (Drury) (Hymenoptera, Pelecinidae) in the Atlantic Rainforest of São Paulo State, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 58(1), 63-65. <http://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262014000100010>
- MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). (2018).** Plan Maestro para el Agro de la Región Occidental 2017 – 2024: Resumen Ejecutivo. [https://www.agora.gob.pa/pdf/Resumen%20Ejecutivo%20Plan%20Maestro%20del%20Agro%20para%20la%20Regio%CC%81n%20de%20Occidente%20Final%20%20\(optimizado\)-yvb.pdf](https://www.agora.gob.pa/pdf/Resumen%20Ejecutivo%20Plan%20Maestro%20del%20Agro%20para%20la%20Regio%CC%81n%20de%20Occidente%20Final%20%20(optimizado)-yvb.pdf)
- OSU (Ohio State University, US). (2022).** Taxa: *Pelecinius polyturator* | (Drury) | Valid | Consultado el 10 de agosto de 2022. [https://mbd-db.osu.edu/hol/taxon\\_name/701e16a0-a145-4180-b00d-572f1cbe7c5f?&q=Pelecinius+polyturator&search\\_categories%5B%5D=Taxon%3A%3ANa me&search\\_categories%5B%5D=Collection%3A%3ACollectingUnit&search\\_categories%5B%5D=Entity%3A%3AAgent&search\\_categories%5B%5D=Collection%3A%3AStorageRe gime&search\\_categories%5B%5D=RefWork%3A%3AJournal&search\\_categories%5B%5D=Geo%3A%3ANamedPlace&search\\_categories%5B%5D=RefWork%3A%3APublication &search\\_categories%5B%5D=Geo%3A%3ALocality&search\\_type=fast](https://mbd-db.osu.edu/hol/taxon_name/701e16a0-a145-4180-b00d-572f1cbe7c5f?&q=Pelecinius+polyturator&search_categories%5B%5D=Taxon%3A%3ANa me&search_categories%5B%5D=Collection%3A%3ACollectingUnit&search_categories%5B%5D=Entity%3A%3AAgent&search_categories%5B%5D=Collection%3A%3AStorageRe gime&search_categories%5B%5D=RefWork%3A%3AJournal&search_categories%5B%5D=Geo%3A%3ANamedPlace&search_categories%5B%5D=RefWork%3A%3APublication &search_categories%5B%5D=Geo%3A%3ALocality&search_type=fast)
- Rodríguez, L., y Medianero, E. (2022).** The composition of braconid wasp communities in three forest fragments in a tropical lowland forest of Panama. *BMC Ecology and Evolution*, 22,98. <http://dx.doi.org/10.1186/s12862-022-02051-4>
- Santos-Murgas, A., y Collantes, R. (2022).** *Neorileyia albipes* (Hymenoptera: Eurytomidae): parasitoide de huevos de *Arilus gallus* (Hemiptera: Reduviidae) en Fortuna, Chiriquí, Panamá. *Tecnociencia*, 24(1), 87-99. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/2574>

**Sousa, A., Nascimento, A., Tavares, M., y Fernandes, D. (2020).** New records of *Pelecinus polyturator* (Drury) (Hymenoptera: Proctotrupeoidea: Pelecinidae) for Brazil. *Revista Chilena de Entomología*, 46(4), 739-743. <http://dx.doi.org/10.35249/rche.46.4.20.20>

**STRI (Smithsonian Tropical Research Institute). (2022).** Panama Biota. Consultado el 10 de agosto de 2022. <https://panamabiota.org/stri/collections/list.php?usethes=1&taxa=42155>

Tipo de manuscrito: Revisión bibliográfica

Título corto: Bioinformática y COVID-19

## **SISTEMAS DE INFORMACIÓN BIOINFORMÁTICA: DESAFÍOS QUE DEJA LA PANDEMIA DEL COVID-19 EN PANAMÁ**

BIOINFORMATICS INFORMATION SYSTEMS: CHALLENGES LEFT BY THE COVID-19 PANDEMIC IN PANAMA

**Recepción**

14-08-2022

**Aprobación**

22-11-2022

**Roberto Daniel Gordon Graell**

Universidad de Panamá. Centro Regional Universitario de Panamá Oeste. Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación. Panamá

Correo: roberto.gordon@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-8468-4910>

**Recepción**

14-08-2022

**Aprobación**

22-11-2022

### **Resumen**

La Bioinformática es una disciplina técnica y científica relativamente nueva pues su andadura se remonta a algo más de tres décadas. Una descripción aceptada es que es la relación de las matemáticas y la biología a través de la informática cuyo aporte, más importante, es que abrió las puertas del genoma para el entendimiento del mapa de la vida por los científicos. Con el desarrollo de los sistemas de información la construcción del conocimiento se potenció exponencialmente. La informática revolucionó el mundo de la investigación científica y la producción de saberes. Lo que antes necesitaba décadas de disciplina investigativa se redujo a años, gracias a las herramientas digitales y los ambientes colaborativos mundiales de la sociedad del conocimiento. Esa característica ha sido

determinante para enfrentar la pandemia producida por el coronavirus COVID-19. Este artículo es una revisión documental del uso de la bioinformática como aliada estratégica para vencer el coronavirus y reducirlo a una enfermedad endémica, tanto desde el diseño de estudios como el uso de técnicas y herramientas que provee la disciplina. Se revisaron buscadores generales y académicos de acceso abierto, con el uso de palabras claves sin conectores booleanos seleccionando una muestra de trabajos de investigación de carácter académico o páginas web especializadas, en idioma español, con características específicas de inclusión. La principal conclusión es la escasa producción de investigaciones y documentos de investigación médica sobre el coronavirus en la región latinoamericana y la ausencia porcentual de trabajos de origen panameño.

**Palabras clave:** Aplicaciones digitales, Bioinformática, Coronavirus, COVID-19, Sistemas de información.

#### **Abstract**

Bioinformatics is a relatively new technical and scientific discipline, as it goes back a little more than three decades. One accepted description is that it is the relationship of mathematics and biology through informatics whose most important contribution is that it opened the doors of the genome for the understanding of the map of life by scientists. With the development of information systems, the construction of knowledge was exponentially enhanced. Computer science revolutionized the world of scientific research and the production of knowledge. What used to require decades of research discipline was reduced to years, thanks to digital tools and the global collaborative environments of the knowledge society. This characteristic has been decisive in confronting the pandemic produced by the coronavirus COVID-19. This article is a documentary review of the use of bioinformatics as a strategic ally to overcome the coronavirus and reduce it to an endemic disease, both from the design of studies and the use of techniques and tools provided by the discipline. General and academic open access search engines were reviewed, with the use of keywords without Boolean connectors by selecting a sample of academic research papers or specialized web pages, in Spanish, with specific inclusion characteristics. The main conclusion is the low

production of research and medical research documents on the coronavirus in the Latin American region and the percentage absence of works of Panamanian origin.

**Keywords:** Digital applications, Bioinformatics, Coronavirus, COVID-19, Information systems

### Introducción

Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) son un amplia y variada gama de recursos tecnológicos que van desde un sencillo power point, instalado en un computador personal, hasta complejas plataformas especializadas que requieren de servidores propios en ambientes muy técnicos y científicos como puede ser la estación espacial internacional o los aceleradores de neutrones. Son sistemas de información digital diseñados para un conjunto de datos y elementos que interaccionan armónicamente entre sí y que tienen un fin específico. La proyección a la pared, desde el teléfono móvil, admira, pero ya no sorprende, Gutiérrez (2019) deja ver su cotidianidad.

Tanto en la cultura digital como en su infraestructura tecnológica abundan pantallas donde imagen y texto coexisten, interactúan e hibridan en un constante flujo de información visual. En ellas convergen medios que hasta hace unas décadas poseían estructuras tecnológicas, espaciales o socio económicas independientes y que tras su digitalización comparten un entorno informático común. (p. 2)

Para la sociedad del conocimiento son tan naturales las TIC que, al día de hoy, prácticamente no existe una rama de investigación y creación humana que no se apoye en cualquiera de la variedad de recursos ofrecidos por las tecnologías digitales. Son el futuro disruptivo que genera cambios en los modelos de comunicación, interacción, producción y consumo, creando el muy particular ecosistema de la sociedad digital (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021).

En ese escenario puede afirmarse que la sociedad del siglo 21 está en un proceso de transformación acelerada mediada por las TIC, al punto que se encuentran autores que sostienen que marcan una etapa de la historia humana, denominada cuarta revolución industrial, determinada por la “Expansión de sistemas productivos físico-digitales, basada

en la digitalización de la realidad cotidiana y la hiperconectividad de los procesos, las cosas y las personas.” (Martínez et al, 2020, p. 12)

Esa “digitalización e hiperconectividad” es el carácter disruptivo que diferencia significativamente las dos últimas revoluciones industriales. Si la primera fue la mecanización y la segunda el uso de la electricidad, la tercera y la cuarta están marcadas por el uso de las computadoras y la electrónica, pero, esta última implica que los cambios, y los desarrollos tecnológicos digitales, avanzan a una velocidad exponencial que obliga nuevas ideas para mejorar procesos productivos, formas de enseñanza, modelos de relacionamiento social y de producción, atención a las necesidades sociales y formas de investigación. Todos los campos impactan positivamente en la calidad de vida de los ciudadanos (Martínez et al, 2020).

Las TIC son un recurso muy valioso en la investigación de todas las ciencias. Las herramientas que proporcionan permiten al hombre acceder hasta donde nunca antes pensó que llegaría. No es una metáfora. Los complejos sistemas de información, raíz de desarrollos tecnológicos digitales, permiten a los científicos e investigadores adentrarse en lo profundo del espacio sideral a millones de kilómetros en un entorno hostil e inalcanzable físicamente, como también a lo interno de los espacios microscópicos, atómicos. En estos últimos para visualizar, especular científicamente, crear modelos virtuales, experimentar y educar (Pérez y Rodríguez, 2008).

### **Bioinformática**

De las ciencias naturales, las biológicas son, tal vez, una de las que más se han beneficiado de las TIC por su importancia para la vida del mismo ser humano. Aunque están presentes en áreas tan importantes como la producción agrícola y la protección del medio ambiente, en las últimas tres décadas, es la medicina la que más se beneficia de ese desarrollo exponencial. Un ejemplo significativo es que, gracias a la combinación de los recursos de los sistemas de información y su influencia en la mecánica y la electrónica, se crean instrumentos y aplicaciones tecnológicas médicas de todo tipo, desde escáneres del tamaño de un maletín de mano hasta prótesis con microchips (Orbe, 2019).

Pero las TIC no son únicamente aplicaciones y dispositivos tecnológicos. Su impacto es tal en los fenómenos sociales, como la producción y la investigación, que emergieron nuevos campos científicos y prácticas profesionales como la bioinformática, disciplina que puede calificarse de joven por su aparición en algo más de dos décadas, que relaciona la biología y la informática en una combinación al servicio de las ciencias de la vida porque permite el estudio de data biológica con base en la teoría de la información, las matemáticas y la computación (Campos et al, 2021).

La bioinformática es el producto de la necesidad de los científicos para gestionar, analizar e interpretar el ingente volumen de información contenido en el genoma, especialmente humano, de entenderlo para luchar contra enfermedades individuales, como el cáncer, o endémicas, como el mal de Chagas, para lo que se desarrollan posibilidades científicas disciplinas del conocimiento entre las que resaltan las ciencias ómicas y generan nuevas perspectivas para la reflexión desde la bioética (Bottasso et al, 2021).

La disciplina bioinformática es un gran aliado para descubrir los secretos de la vida. Los algoritmos en que se apoya permiten crear modelos virtuales para clasificar, catalogar, encontrar relaciones y similitudes, descubrir propiedades y funciones y entender las estructuras de las cadenas genéticas “La Bioinformática es el uso de técnicas computacionales, matemáticas y estadísticas para el análisis, interpretación y generación de datos biológicos. Estudia la minería de datos de ácidos nucleicos, proteínas, lípidos, azúcares y metabolitos mediante diferentes aproximaciones.” (Olaya y Cejas, 2018, p 177)

Se convierte en una herramienta táctica de investigación y aprendizaje especializado en el campo biológico y/o médico y en la misma informática. La primera por la aplicación obligada en el tratamiento y análisis de las variables biológicas y biomédicas en estudios de tiempo y campo real y la segunda por su métodos, sistema y herramientas que se constituyen con las tecnologías de la información. “[...] permitiendo integrar a los métodos de aprendizajes, ambientes colaborativos virtuales, bases de datos en línea sobre genómica y proteómica, experimentos sobre expresión de genes y una gran cantidad de herramientas para la planificación experimental.” (Pérez y Rodríguez, 2008, p. 3 - 4)

Esas características son de suma importancia desde el año 2019 en que todas las sociedades se enfrentan a la pandemia mundial creada por el coronavirus COVID 19. Una especulación acertada es que el acceso a la información de miles de millones de datos, su sistematización y la posibilidad de crear modelos de comportamiento del virus y experimentos con el menor margen de error de manera más acelerada fue una de las determinantes para reducir el tiempo de sometimiento de la humanidad al virus. No habría sido posible en el siglo anterior (Sánchez y Nares, 2021).

Aunque pareciera que la etapa más crítica de acción del virus está superada, Las diferentes variantes y su aparición en otras especies, hasta ahora no letal en las que la cepa causante es natural (Núñez, 2020), permiten afirmar que el virus causante no está dominado para ubicarlo en el mismo nivel de enfermedades endémicas, pero controladas, como la gripe, el sarampión u otra de las enfermedades contagiosas que pudieran conducir a epidemias. Es necesario continuar investigando.

Las investigaciones preliminares para este artículo no encontraron publicaciones científicas de origen panameño al respecto, pero es necesario tener una idea de la actualidad del tema en relación al avance de las investigaciones con ayuda de los sistemas de información que representan la bioinformática. Más allá de identificar los proyectos de biogenética o bioinformática en el país, o sus universidades, es interesante conocer cómo se pueden aplicar estratégicamente proyectos para desarrollar el conocimiento como capital científico y especializado del país.

### **Materiales y métodos**

Se realizó una revisión documental sobre las características técnicas de los recursos bioinformáticos disponibles en la red y su utilidad en las estrategias y diseños de estudio del coronavirus COVID-19 en la comunidad científica de habla hispana con trabajos publicados en la barra de búsqueda general de Google y los buscadores académicos Google Scholar, Redalyc y Scielo.

Para relacionar Bioinformática y Covid-19 se realizó una búsqueda sistematizada entre los años 2019 al 2022, incluido, con la combinación, sin conectores booleanos, de palabras claves: Bioinformática, Aplicación, COVID y variantes: sistemas de información y

coronavirus, como elementos de inclusión para la selección de trabajos académicos de cualquier tipo a saber: Tesis de grado, artículos científicos, contenidos de cátedras y páginas web.

Se encontraron 125 documentos en campos diversos como son Investigación médica, investigación social en estadísticas de salud, farmacología, reflexión científica, educación científica e informática, cuya lectura de resúmenes seleccionó 26 posibles trabajos de estructura y divulgación científica de los cuales se seleccionaron 4 cuyo contenido cumple criterios de inclusión para el estudio a saber: Estructura de investigación científica, estudio del Coronavirus COVID-19 y utilización de recursos bioinformáticos.

### **Resultados**

Siendo la bioinformática una disciplina básicamente constituida para abordar eficientemente la información genética, es natural que sea un apoyo básico en las investigaciones sobre el coronavirus COVID-19. Una definición sencilla de los virus es que son partículas infecciosas constituidas por un solo ácido nucleico, con material genético, DNA o RNA, de organización estructural simple que se replican por un mecanismo particular en de una célula viva. Con la información genética forma proteínas que especifican su función como parásito dentro de la célula viva (Martínez, 2016).

Leiva et al (2020) sintetizan la identificación taxonómica del COVID-19 “Los coronavirus (CoV) son virus ARN encapsulados de polaridad positiva altamente diversos, pertenecientes a la familia Coronaviridae, se dividen en 4 géneros: alfa, beta, gamma y deltacoronavirus, que pueden ser transmitidos por animales y humanos” (p. 4). Por ende, el grueso de las investigaciones médicas sobre el coronavirus se ubicó en disciplinas con un alto contenido bioinformático.

El primer paso fue su identificación completa a través de la secuenciación genética. Son procesos que incluyen: etapas de alineamiento de secuencias genéticas y análisis filogenéticos (origen genético). Además de conocer sus componentes permite la clasificación taxonómica internacional. Gómez y Guarda (2019) señalan su clasificación:

El nuevo virus, pertenece a la familia Coronaviridae la cual está formada por virus de ARN de hebra positiva. Los virus de esta familia infectan vertebrados y han sido

parte de tres brotes zoonóticos importantes en las últimas dos décadas que son el SARS el 2003, MERS el 2012 y el COVID-19 el 2019.

En el caso del coronavirus identificado en Wuhan, primero fue nombrado como 2019-nCoV y luego de generarse las primeras secuencias de su genoma completo se pudo conocer su organización y contenido genómico, así como su posición evolutiva entre los coronavirus ya conocidos (¿Qué rol cumple la bioinformática...?)

Tanto en Leiva et al (2020) como en Gómez y Guarda (2019) se aprecian pasos básicos para la identificación del virus y otros necesarios para su estudio aplicado a las disciplinas que se ocupen de investigarlo, a saber:

- Secuenciación genética de identificación.
- Taxonomía de secuencia genética comparada.
- Análisis de genomas (Técnicas de secuenciación genética y bioinformática).
- Modelamiento estructural de potenciales dominios de proteína de unión a receptores.

El trabajo de Pastrian (2020) versa sobre las rutas de infección orales del virus a través de la enzima convertidora de la angiotensina 2 (ACE2) como objetivo para la recepción e ingreso en la célula huésped por medio de las células epiteliales de las mucosas y especialmente la lengua. Es una revisión documental de diferentes trabajos que identifica las herramientas bioinformáticas en diferentes etapas de cada uno de los trabajos investigados, como se describen a continuación:

- Perfil de expresión de RNA relacionado con ACE2: Análisis bioinformático de técnicas de secuenciación de RNA unicelular con bases de datos públicas.
- Análisis de expresión, composición y proporción de expresión de ACE2 en diferentes células de tejidos de la cavidad oral: Perfiles transcripcionales bulk RNA-Seq en dos bases de datos públicas, TCGA y FANTOM.
- Distribución, expresión y presencia de ACE2 en el cuerpo humano: Técnicas de secuenciación con: scRNA-Seq y bulk RNA-Seq.

El trabajo de investigación de Recalde (2021) en el campo de la química de los alimentos se limitó a identificar posibles reservorios del virus en animales para consumo humano a través de técnicas bioinformáticas. Su diseño de investigación requirió de

diferentes y variadas herramientas de secuenciación y relacionamiento de información en bases de datos.

- Búsqueda de codificaciones genéticas animales: Base de datos NCBI, Centro de información biomédica y biogenómica y Ensembl.
- Alineación de secuencias animales con secuencia base de la proteína ACE2 en SARS COV-2: Editor Bioedit.
- Obtener un árbol filogenético con las secuencias animales: Mega X (Molecular Evolutionary Genetics Analyzys, por sus siglas en inglés.)
- La revisión sistemática de la literatura médica existente sobre el SARS-Cov-2 de Leiva et al (2020) refleja diferentes metodologías con aporte bioinformático como son:  
Secuenciación del genoma viral
- Análisis de la secuencia proteica por pares de siete dominios conservados de proteínas no estructurales.
- Análisis metagenómicos utilizando secuenciación de próxima generación para identificar posibles agentes etiológicos
- Montaje de novo de un genoma de CdV de 29.891 pares de bases que compartía una identidad de secuencia del 79,6% con SARS-CoV BJ01.
- Secuencias de genomas de larga duración de 2019-nCoV.
- Análisis filogenético del genoma de longitud completa y las secuencias genéticas de RdRp y spike (S).
- Gráfica de similitud basada en la secuencia del genoma de larga duración de 2019-nCoV WIV04.

Las herramientas también son soporte de investigaciones para el desarrollo de modelos informáticos al servicio de la atención hospitalaria a pacientes del COVID 19. Fuentes y Medina (2020) presentaron el diseño de un modelo predictivo de la gravedad de paciente que se fundamentó en el lenguaje de programación Python y la librería sklearn de Python 3.5 en el “entrenamiento del algoritmo” tanto como STAT::FIT para las distribuciones estadísticas.

Los trabajos referidos como muestra de este artículo permiten establecer dos herramientas bioinformáticas fundamentales para las investigaciones generales, y de COVID-19, como son las bases de datos y la secuenciación genética.

### **Bases de datos**

Las bases digitales de son una herramienta de recolección y archivo de datos e informaciones sobre resultados de investigaciones en diferentes campos de la ciencia. Cada una es una herramienta compleja, especializada y representativa de un tema particular. En la Bioinformática cada base es una colección estructurada, indexada, de diseño específico para facilitar la búsqueda en un área particular de la investigación biogenética. Se renuevan todos los días y se entrecruzan. La mayoría son de código abierto y se acompañan con otras herramientas complementarias como software de mapeo genético y alineaciones de secuencias (Olaya y Cejas, 2018).

Entre las bases de datos bioinformáticas más relevantes a nivel mundial se encuentran:

- De secuencias de nucleótidos: Centro Nacional de Información Biotecnológica de estados Unidos (NCBI, por sus siglas en inglés). Archivo Europeo de Nucleótidos (ENA, por sus siglas en inglés) y el Banco de Datos de DNA de Japón (DDBJ por sus siglas en inglés)
- De genomas de organismos concretos: Flybase (*Drosophila*) autofinanciada. Base de datos del genoma *saccharomyces* (SGD por sus siglas en inglés) (Levadura) autofinanciada y ENSEMBL (Hombre, ratón y otros) buscador de genomas para genomas de vertebrados, autofinanciada.
- De datos de proteínas: UniProtKB/Swiss-Prot (Expasy) Suiza. Banco de datos de Proteínas (PDB, por sus siglas en inglés) financiado por diferentes laboratorios y Clasificación estructural de proteínas (SCOP, por sus siglas en inglés) apoyado por el Consejo de Investigación Médica del Reino Unido.

- De datos bioinformáticos: Biblioteca Nacional de Medicina del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos. (COMAV, s/f)

El Instituto Suizo de Bioinformática pone a disposición pública una variedad de bases de datos en el portal Expasy (<https://www.expasy.org/>) cuya página principal es un conjunto de recursos especializados para los investigadores biológicos. Es una muestra de la diversidad y complejidad del conocimiento relacionado con el genoma y de la gran cantidad de disciplinas que se sirven de la información. La tabla 1 es una síntesis de los recursos del complejo sistema de información Expasy para dos especialidades del campo de la información biológica como son la genómica, investigación sobre genes y genomas, y la proteómica, investigación sobre proteínas y protonemas:

- El conjunto de bases de datos de Expasy sirve a cinco campos especializados de las ciencias del genoma. Es una de las principales especializadas en proteínas.
- Ofrece ochenta bases de datos en recurso abierto, especializadas y muy especializadas, aunque de lenguaje científico sencillo. Como recurso dinámico y en constante crecimiento presenta bases como: Tubo en V SARS-CoV-2 (específicamente adaptada para analizar datos de secuenciación de alto rendimiento de SARS-CoV-2) y Escenarios COVID-19 (Aplicación web de escenarios de COVID-19) y BEAST2 - COVID-19 Monitoring,
- Presenta herramienta para algo más de cien tipos de trabajo entre los que se encuentran: Análisis de RNA-Seq, Visualización de múltiples muestras, Visualización de componentes principales, Trazado de gráficos de dispersión, Análisis de enriquecimiento de conjuntos de genes, Análisis de expresión, Llamado pico, Descubrimiento de motivos de secuencia, Predicción del sitio de unión del factor de transcripción, Alineación de secuencia, Clasificación y Búsqueda de similitud estructural.
- También da acceso a bibliografía especializada con conectores booleanos, minería de textos y descarga de documentos. Ofrece registro y acompañamiento para bases de datos con machine learning.

### **Algoritmos bioinformáticos**

La secuenciación genética se construye con la identificación de los elementos proteicos con una letra, o combinaciones de letras, asignada y la construcción del algoritmo de secuenciación que represente el comportamiento conocido del elemento proteico. El eje constitutivo de las herramientas digitales es el algoritmo. El programa diseñado para realizar la virtualidad de un dato. Los bioinformáticos son esencialmente cuantitativos, de registro y almacenamiento, pero, con la adición de la machine learning y la Inteligencia Artificial (IA), también de relación de datos e inferencias de resultados con matrices predictivas.

Los más importantes son los relacionados con la medicina y la curación de enfermedades como el cáncer. Franch (2018) en su trabajo de Bioinformática funcional requirió de técnicas complejas, para el análisis de los datos ómicos y su ubicación dentro de un contexto biológico convirtiendo la firma genética en mecanismos biológicos o fenotipos, que no hubiesen sido posibles sin el desarrollo de la disciplina. Su trabajo es un compendio de procesos complementarios que requirieron diseños especiales de software para cada paso.

En la etapa de preparación preliminar requirió técnicas de análisis masivo para el estudio de genes, proteínas y metabolitos para determinar las secuencias de los genes y la relación de esa secuenciación con su función. La herramienta bioinformática que seleccionó es una plataforma de secuenciación denominada: Illumina (Illumina), 454 (Roche), Ion Torrent (Life Technologies), Solid (Applied Biosystems), PacBio (Pacific Biosciences).

Para la etapa de Control de Calidad y Preprocesamiento, que supone la comprobación de la calidad correcta de las lecturas de secuenciación y visualizar y evaluar la calidad de los datos utilizó los programas PRINSEQ y FASTQC. Para la etapa de Alineamiento necesaria para descubrir posiciones del genoma que han sido transcritas y romper lecturas que no han sido alineadas previamente para tratar de alinearlos de forma independiente se requieren programas como TopHat2, GSNAP, QPALMA, STAR y SOAPSplICE. Existen programas especializados en alinear lecturas cortas como Bowtie, BWA y SOAP.

Para la etapa de Cuantificación, necesaria para encontrar lecturas iguales que se alinean en varias regiones, se desarrollaron algoritmos en programas como RSEM, Cufflinks, IsoEM, Feature Counts, y HTSeq que coligen abundancia de genes e isoformas. Para la Normalización y análisis de expresión diferencial entre muestras cuenta con programas DESeq, EdgeR, GENE-Country Cuffdiff2 [37].

Los programas también se encuentran es software libre. Alcalde (2016) hace una revisión documental de software bioinformáticos en los que se incluyen disciplinas no relacionadas directamente con la medicina que también encuentran soluciones tecnológicas de alta calidad entre las que se encuentran:

- Biología evolutiva computacional: Estudian el origen, la historia evolutiva y el cambio, a través del tiempo, de las especies. Se apoyan en programas como DENDRON (Matriz de distancias), GARLI (Máxima verosimilitud), DNAsp (Cálculos de distancia), BEST (Método bayesiano) y MEGA o DAMBE (Desde diferentes enfoques).
- Medición de la biodiversidad: Recoge los nombres de las especies, descripciones, distribuciones, información genética, estado y tamaños de las poblaciones, necesidades de su hábitat e interacción con otras especies. Se apoyan en programas como Estimates y CHAO (Curvas de acumulación y estimaciones de la riqueza esperada de acuerdo con modelos) y Jackknife y Bootstrap (Sistema de muestreo estandarizado).
- Análisis de la expresión y regulación génica: Es el estudio de los niveles Ácido Ribonucleico Mitocondrial (mRNA) se apoya en programas como: EST (Secuenciación), SAGE (Análisis en serie de la expresión génica) y MPSS (Secuenciación masiva de firmas paralelas).

Alcalde (2016)

También recoge herramientas digitales para Predicción de la estructura de proteínas, Genómica comparativa, Modelado de sistemas biológicos y Acoplamiento molecular.

### **Herramientas complementarias**

Todas estas herramientas se complementan con formas de presentación de resultados diversas a gusto del investigador. Son: inclusión de gráficos, diseño virtual de secuencias dinámicas, gráficos de prospectivas y proyecciones cromáticas, informes cortos, sintéticos y enlaces a bases o programas de soporte técnico y de respaldo. Los medios de comunicación se invadieron con la imagen computarizada del coronavirus que, en su gran mayoría, fue generada con herramientas de imágenes o gráficos dinámicos de las hojas de cálculo que son el fundamento de los programas de bases de datos.

Los ensayos en silico son una técnica de investigación de modelado molecular, de nacimiento relativamente corto, que reúnen la biología y la química a través del vaso comunicante de la bioinformática, con algoritmos de simulación y predicción, para simular la interacción de moléculas según su afinidad, estructural o química, en proceso de acoplamiento molecular. Yabar (2020) refiere su importancia en el campo de la biología molecular para diseñar biofármacos, como una propuesta de medicamentos inhibidores de elementos químicos y consecuencias del coronavirus COVID-19 basados en técnicas de simulación de la biología molecular y la bioinformática como ya se han aplicado en otras enfermedades a través del plasma sanguíneo.

### **Conclusiones**

La presencia de la región con trabajos de investigación, culminados o en proceso, sobre el virus es casi nula. El porcentual es muy pequeño y de Panamá no aparecen. Las revisadas por el autor son finitas en sus objetivos, no tienen continuidad. Aunque puede ser un fallo de política de divulgación, sigue siendo un fallo a corregir, pero también señala que es importante la promoción institucional de este tipo de investigaciones pues, lamentablemente, la del COVID 19 no será la última pandemia que la humanidad tenga que enfrentar.

Desde su aparición los sistemas de información sintetizados en herramientas y aplicaciones impactan positivamente al mundo. La revisión en los buscadores científicos y académicos, una muy apreciada TIC, reportan millones de nuevos documentos científicos

de todo tipo que, a su vez, impulsan la creación del conocimiento a una velocidad nunca antes soñada por el ser humano. Aunque la revolución industrial 4.0 de las tecnologías IA y machine learning amenaza con convertirse en una nueva etapa de ese proceso histórico humano signado por la no intervención de la mano humana en gran parte de la producción de conocimiento, bienes y servicios para proveer una calidad de vida, digna del humano.

La bioinformática es una disciplina creada por el conocimiento humano. No fueron las máquinas ni los programas las que la diseñaron, sino el compendio de la lógica humana en el uso de herramientas abstractas, como el conocimiento, y de concretas, como los circuitos electrónicos. La profundidad de sus aplicaciones admira y deja ver otras posibles, para las que existen muchas metas, que ayudará a alcanzar.

La pandemia de COVID 19 es una consecuencia negativa de una sociedad en crecimiento y contacto permanente. Es una sociedad mundial con componentes reales y virtuales que no dejará de interactuar en ambos ecosistemas. Aunque obligó al mundo a encontrar formas de lucha contra un enemigo común, no han sido construidas en la sociedad mundial sino en competencias de unos con otros cuyo resultado es una dependencia absoluta de algunas regiones, como Latinoamérica, de países avanzados.

El fin de este artículo no es hacer una reseña de programas bioinformáticos y/o empresas que los distribuyen. Es poner sobre la mesa la discusión organizada para encontrar nuevas formas para la investigación en cualquier área. No es un secreto que muchos de los descubrimientos científicos y los avances tecnológicos que pueden representar, sobre todo en ciencias duras, se hacen en instituciones diferentes a las universitarias. El robo de cerebros también se hace desde empresas que, con sus objetivos concretos, son una fuente de estabilidad laboral para el investigador, así no sea titulado.

Uno de los desafíos, y muy buen proyecto, de investigación conjunta de instituciones científicas y académicas puede ser la creación de la base de datos bioinformáticos de Panamá. Requeriría de la inversión del Estado en un plan conjunto con un fin único. Es posible si la disposición de los recursos se equipara con la variada oferta de subsidios a las ciencias que presenta la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) de Panamá en su portal web.

**Financiamiento:** Esta investigación no recibió financiamiento externo.

**Conflictos de Intereses:** El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

- Alcalde, M. (2016). *Software libre enfocado en diversos campos de las ciencias*. Revista Hamut'ay, 3(1), 59-70: <http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/HAMUT/issue/archive>
- Bottasso, O., Mendicino, D., Perez, A., y Moretti, E. (2021). *Bioinformática y bioética. El desafío de complementarlas*. Medicina (B. Aires) 81(6), 1091-1092: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0025-76802021000801091&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802021000801091&lng=es&tlng=es)
- Campos, R., Flores, A., Molina, J.-A., Mora, R., Rodríguez, C., Gatica, A., y Guzmán, C. (2021). *Avances de la bioinformática en Costa Rica: vista retrospectiva y perspectivas*. Revista de Biología Tropical, 69(4), 1204-1223: <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i4.46873>
- COMAV. (s/f). *Bases de datos biológicas*. Bioinformatics at COMAV: [https://bioinf.comav.upv.es/courses/intro\\_bioinf/bases\\_datos.html](https://bioinf.comav.upv.es/courses/intro_bioinf/bases_datos.html)
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Tecnologías digitales para un nuevo futuro*. (LC/TS.2021/43) Santiago: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46816/1/S2000961\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46816/1/S2000961_es.pdf)
- Franch, M. (2018). *Bioinformática funcional y su aplicación en genómica, proteogenómica y reposicionamiento de fármacos*. [Tesis Doctoral] Universidad Complutense de Madrid: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/55758/>
- Fuentes, M., y Medina, W. (2020). *Diseño de un modelo predictivo-asistencial de pacientes infectados por covid-19, mediante un modelo supervisado de machine learning basado en criterios de derivación hospitalaria o ambulatoria*. [Tesis para obtención del Título de Ingeniero de Sistemas] Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/52650>
- Gómez, F., y Guarda, M. (2019). *El rol de la bioinformática desde la identificación hasta la generación de tratamientos para covid-19*. BIOREN-UFRO: <https://bioren.ufro.cl/investigadores-del-nucleo-cientifico-y-tecnologico-en-biorecursos-de-la-ufro-nos-cuentan-sobre-covid-19-y-sus-efectos-en-la-salud-humana/#toggle-id-2>
- Gutiérrez, E. (2019). *Actualizaciones Visuales Dinámicas en los sistemas digitales*. Revista Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad, 11(20), 1-14: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=534367764002>
- Leiva, L., Villacís, S., Quishpe, G., y Chicaiza, A. (2020). *La mejor evidencia científica, ante la pandemia de SARS-Cov-2*. Revista medicencias UTA, 4(2), 3-29: <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/medi/article/view/1232>

- Martínez, H. (2016). *Virus: ¿Qué son? ¿Qué hacen? Una pequeña introducción al mundo de los virus*. Biol. on-line, 5(2), 1-13: [http://revistes.ub.edu/index.php/b\\_on/index](http://revistes.ub.edu/index.php/b_on/index)
- Martínez, R., Palma, A., y Velásquez, A. (2020). *Revolución tecnológica e inclusión social: reflexiones sobre desafíos y oportunidades para la política social en América Latina*. Naciones Unidas, serie Políticas Sociales, N° 233: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45901/1/S2000401\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45901/1/S2000401_es.pdf)
- Núñez, G. (2020). *Coronavirus en aves acuáticas*. Revista Kuxulkab', 26(56), 51-59: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a26n56.3822>
- Olaya, A., y Cejas, M. (2018). *Bioinformática como recurso educativo: Proyecto de ingeniería genética*. EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC, 7(1), 174-195: <https://doi.org/10.21071/edmetic.v7i1.10027>
- Orbe, A. (2019). *La Biotecnología cambiará el mundo*. TELOS. Fundación telefónica: <https://telos.fundaciontelefonica.com/la-biotecnologia-cambiara-el-mundo/>
- Pastrian, G. (2020). *Presencia y expresión del receptor ACE2 (Target de SARS-CoV-2) en tejidos humanos y cavidad oral. Posibles rutas de infección en órganos orales*. Int. J. Odontostomat, 14(4), 501-507: <https://www.scielo.cl/pdf/ijodontos/v14n4/0718-381X-ijodontos-14-04-501.pdf>
- Pérez, C., y Rodríguez, J. (2008). *De la táctica didáctica a la práctica investigativa: experiencia desde la bioinformática*. Revista Virtual Universidad Católica del Norte (23), 1-12: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194220391005>
- Recalde, V. (2021). *Identificación bioinformática de posibles reservorios de SARS-CoV-2 en animales de consumo humano y otros mediante el análisis de secuencias homólogas de la enzima convertidora de angiotensina 2 (ACE2)*. [Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación presentado como requisito previo a la obtención del Título de Química de Alimentos].UCE.: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/25479/1/FCQ-CQA-RECALDE%20VERONICA.pdf>
- Sánchez, A., y Nares, A. (2021). *La ciencia en tiempos de pandemia*. Braz. J. of Bus, Curitiba, 3(3), 2159-2166: <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BJB/article/download/33225/26009>
- Yabar, C. (2020). *Diseño de biofármacos: una alternativa en la búsqueda de tratamientos para covid-19*. Bol Inst Nac Salud, 26 (11-12), 140-142: <https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1402/Dise%C3%B1o%20de%20biof%C3%A1rmas.pdf?sequence=1>

**Tabla 1.** Extracto base de datos del portal Expaty

Bases de datos			
Especialidad	Disciplinas	Nombre	Tipo de base
Genes y Genoma	Genómica, Metagenómica y Transcriptómica	SwissOrthology	Filogenómicas. Secuencias genéticas. (Ortólogos)
		Bgee	Comparaciones de expresión génica homóloga entre especies.
		EPD	Curaduría para información controlada (Eucariotas)
		V-pipe	Estudios epidemiológicos y genómicos de patógenos virales.
		Automated Single-Cell Analysis Portal	Portal colaborativo de análisis de datos ómicos unicelulares.
		SwissRegulon Portal	Genómica regulatoria. Requisitos para el uso del genoma.
Proteínas y proteomas	Genómica, Metagenómica, Transcriptómica, Evolución genética, Población genética, química médica	neXtProt	Proteínas humanas: función, expresión de ARNm / proteína, etc.
		SwissLipids	Marco para integración de datos de lípidos y lipidómicos.
		ñandú	Reacciones químicas y de transporte de interés biológico.
		STRING	Interacciones proteína-proteína conocidas y predichas.

**INCIDENCIA DE ELASMOBRANQUIOS EN LA PESCA  
ARTESANAL EN LOS GOLFOS DE CHIRIQUÍ Y MONTIJO,  
PACÍFICO PANAMEÑO**

INCIDENCE OF ELASMOBRANCH FISH IN ARTISANAL FISHERIES IN  
THE GULF OF CHIRIQUÍ AND MONTIJO, PANAMANIAN PACIFIC

**Angel Javier Vega<sup>1,3\*</sup>**;

<https://orcid.org/0000-0002-9535-3348>,

angel.vega@up.ac.pa\*, \* Correspondencia

**Yolani A. Robles P<sup>1</sup>**;

<https://orcid.org/0000-0003-4140-9235>,

yolany.robles@up.ac.pa

**Fernando Quezada<sup>1</sup>**;

<https://orcid.org/0000-0001-5423-8784>,

ferquez22@hotmail.com

**Luis Montes<sup>1</sup>**;

<https://orcid.org/0000-0002-8823-1991>,

luis.montes@up.ac.pa

**Annisamyd del Cid<sup>2</sup>**;

annissamyd.delcid@marviva.net

**Olmedo Quintero<sup>1</sup>**;

olmedobio14@gmail.com

1. Centro de Capacitación, Investigación y Monitoreo de la Biodiversidad, Centro Regional Universitario de Veraguas, Universidad de Panamá (CCIMBIO-CRUV-UP). Calle 10, Santiago de Veraguas, Panamá.
2. Fundación MarViva, Clayton, Panamá.
3. Estación Estación Científica Coiba (Coiba-AIP), calle Gustavo Lara, Edificio 145B, Clayton, Panamá República de Panamá.

**Recepción**

26-08-2022

**Aprobación**

5-12-2022

### Resumen

Las interacciones entre elasmobranchios y artes de pesca es un tema controversial debido al nivel de impacto que ocasiona la pesca incidental o dirigida hacia especies vulnerables y protegidas por legislaciones nacionales o convenios internacionales. En el presente estudio se analizó el impacto de diferentes artes utilizadas en la pesca artesanal, sobre los tiburones y rayas en los golfos de Chiriquí (GCH) y Montijo (GM), Pacífico panameño. Con observadores a bordo de embarcaciones y muestreos de desembarque, se identificó, midió, pesó y evaluó el estado reproductivo de las especies de elasmobranchios capturadas. Para el GCH se reportaron 22 especies (14 tiburones y 8 rayas) y para el GM, ocho especies de tiburones. Para el GCH, la especie más frecuente tanto en las capturas a bordo de embarcaciones como en desembarques fue *Sphyrna lewini* con 56% y 60% respectivamente. Para el GM 83.65% en muestreos a bordo de embarcaciones. Los análisis reproductivos indicaron que para el GCH el 9.36% de los individuos mostraron indicios de madurez y para el GM 1.03%. Por arte de pesca, las menores tallas se capturaron con redes agalleras. La CPUE para (GCH) fue de 4.78 ejemplares/1 000 anzuelos con palangre de fondo y de 1.9 ejemplares/lance con redes agalleras y para el GM de 1.24 tiburones/1 000 anzuelos con palangre superficial y de 5.49 tiburones/lance con redes agalleras. Indistintamente del arte y zona de pesca un alto porcentaje de los ejemplares capturados eran juveniles y la especie más impactada fue *S. lewini*. El presente estudio brinda información útil para la toma de decisiones sobre el manejo y conservación de especies amenazadas.

**Palabras Claves:** Rayas, tiburones, palangre, redes agalleras, pesca a pequeña escala

### Abstract

The interactions between elasmobranchs and fishing gear are a controversial topic because of the national-international legislation, or international agreements and the impact bycatch or targeted fishing has over vulnerable and protected species. The present study analyzed the impact of different fishing gear used in artisanal fishing on sharks and rays in the Chiriquí (GCH) and Montijo (GM) Gulfs, in the Panamanian Pacific. Through onboard vessel observers and sampling at landing sites, caught elasmobranch species were identified, measured, weighted, and their reproductive status was evaluated. Twentytwo species were reported at the GCH (14 sharks and 8 rays), while eight shak species were reported for the GM. The most frequently captured species at the GCH was *Sphyrna lewini* with 56% and 60% onboard vessel and landing sites sampling, respectively. Onboard vessel sampling showed 83.65% of fishing at GM consisted of *Sphyrna lewini*. The reproductive analyses for the GCH and GM indicated that 9.36% and 1.03% of individuals showed signs of maturity, respectively. According to the fishing gear, the smallest sizes were caught with gillnets. The CPUE for GCH was 4.78 individuals/1,000 hooks with bottom longlines and 1.9 individuals/set with gillnets; for GM, the CPUE it was 1.24 sharks/1,000 hooks with surface longlines and 5.49 sharks/set with gillnets. Regardless of the gear and fishing area, a high percentage of the specimens captured were juveniles and the most impacted species was *Sphyrna lewini*. The present study provides useful information for decision making about the management and conservation of threatened species.

**Keywords:** Rays, sharks, longlines, gillnets, small-scale fishing

### Introducción

La disminución de las capturas en los stocks tradicionales de pesca, sumado al creciente valor de las partes y productos del tiburón, los ha convertido en un componente importante en las

pesquerías, pasando de captura incidental no deseada y descartada, en el objetivo principal de pesca (Fowler et al., 2005), con un máximo en las capturas en el año 2000, con 868 190 ton, pero disminuyendo en las siguientes dos décadas hasta alcanzar 679 978 ton en el 2018 (FAO, 2021). Lo que ha provocado una caída del 71.1% en la abundancia de tiburones y rayas oceánicas entre 1971 y 2018, debido a la sobrepesca (Pacoureaux et al., 2021).

Desde el pasado siglo se reportaron reducciones en las poblaciones de algunas especies, tales como *Galeorhinus galeus* en la costa de California (Ripley, 1946), *Carcharhinus leucas* en el Lago de Nicaragua-Río San Juan (Thorson, 1987), *Triakis semifasciata* en la costa de San Francisco, California (Smith and Abramson, 1990), *Prionace glauca* en la Zona Económica Exclusiva Australiana (Stevens, 1992), *C. plumbeus* y *C. obscurus* en el Atlántico Norte occidental (Musick et al., 1993), lo cual se ha agravado en el presente siglo, provocando que existan más de 25 especies de tiburones y rayas en los apéndices I, II y III de Cites (CITES, 2022), aunque en la COP19, celebrada recientemente en Panamá, se incluyeron 54 especies de Carcharhinidae, seis Sphyrnidae y 37 especies de peces guitarra en apéndice II de CITES (Worldwildlife.org, 2022).

Muchos estudios se han realizado sobre tiburones, como por ejemplo relaciones entre pesquerías y captura de tiburones e impacto de artes de pesca (Galeana-Villaseñor et al., 2009; Martínez-Ortiz y Galván-Magaña 2007, Alejo-Plata et al., 2007; Quiroz et al., 2008; Garro et al., 2009; Tavares, 2009; Watson et al., 2009, Robles et al., 2015; Guzmán et al., 2020, Arriatti et al., 2021), biología reproductiva, edad y crecimiento (Castro, 1983; Sidders, 2005; Bejarano-Álvarez, 2007), alimentación (Montaño et al., 2009), dirigidos a especies como *Sphyrna lewini*, *Carcharhinus falciformis*, *Mustelus schmitti*, *Mustelus dorsalis*, *Alopias pelagicus*, entre otras. En casi todos estos estudios se señala el fuerte impacto de las pesquerías sobre poblaciones de tiburones y la captura de fracciones juveniles de sus poblaciones.

En Panamá, la pesca intensiva de tiburones se inició en 1988 en respuesta al atractivo creado por el creciente mercado de las aletas. Es a partir de la década de 1990 cuando el recurso tiburón es explotado a niveles elevados por diferentes sectores pesqueros incluyendo el industrial y comercial (Ramírez y Medina, 1999) y contrario a otras regiones del mundo, se aprovecha la aleta y la carne, sea ésta para consumo humano o carnada (Maté, 2005).

Vega (2004), en un análisis de la pesca artesanal en Golfo de Montijo, Panamá, comunica la captura de cinco especies de tiburones: *S. lewini*, *S. corona*, *S. tiburo*, *C. leucas* y *C. cerdale*, concluyendo que, dentro de la actividad de pesca con redes agalleras, se capturan ejemplares de

pequeño tamaño; algunos con pocos días de haber salido del vientre, lo que puede afectar el proceso de reclutamiento. También hace un llamado de atención sobre el cambio de pesca incidental a dirigida en los tiburones.

De las especies de tiburones capturadas por la pesca artesanal en Panamá, *Sphyrna lewini* es la más impactada, sobre todo por la captura de neonatos y juveniles (Robles et al., 2015; Arriatti et al., 2021). Guzmán et al. (2020), en un análisis combinado de la pesca artesanal e industrial en el Pacífico panameño, comunica que entre el 63% y 99% del total de la captura de la pesca a pequeña escala y la industria corresponde a individuos inmaduros, escenario que también se repite en el Caribe panameño, donde la principal fracción de los tiburones capturados corresponden a juveniles (Návalo et al., 2021)

En general, existe poca información de las especies de tiburones que llegan a las costas del Pacífico de Panamá en términos biológicos y pesqueros, a pesar de la importancia del recurso tiburón por lo que, el objetivo de este estudio fue analizar el impacto de la pesca artesanal sobre tiburones y rayas capturados en los golfos de Chiriquí y Montijo, a través de muestreos con embarcaciones pesqueras y sitios de desembarque.

## Materiales y métodos

### Áreas de estudio

**Golfo de Chiriquí (GCH):** El GCH se localiza al suroeste de la República de Panamá, Geográficamente definido desde Punta Burica al oeste ( $8^{\circ}2'2.22''N$ ,  $82^{\circ}52'9.26''W$ ) hasta Punta Mariato al este ( $7^{\circ}12'31.65''N$ ,  $80^{\circ}53'10.90''W$ ) (Maté, 2005).

**Golfo de Montijo (GM):** El GM es un área protegida y sitio Ramsar, definido por un polígono cuyas coordenadas son ( $7^{\circ}56'4''-7^{\circ}59'30''N$  y  $81^{\circ}17'33''-81^{\circ}1'40''W$ ); ( $7^{\circ}38'20''-7^{\circ}36'29''N$  y  $80^{\circ}58'40''-81^{\circ}13'37''W$ ) (Resolución publicada en la Gaceta Oficial Digital N° 27 972, del 9 de febrero de 2016) y es un Humedal de Importancia Internacional (Sitio Ramsar).

### Metodología

**Golfo de Chiriquí:** El estudio se realizó entre marzo de 2009 y agosto de 2010 utilizando tres embarcaciones, dos "pargueros" (embarcación de 11 m de eslora, 2 metros de ancho, motor 40 a 55 HP) con capacidad para un capitán y cuatro marinos y una lancha de pesca ribereña (9 m de eslora, 1.5 m de ancho, motor 40 HP) tripulada por un capitán y un marino.

Los “pargueros” operaron con dos observadores por embarcación y enfocaron su esfuerzo a la captura de pargos familia (Lutjanidae), chernas y cabrillas (Serranidae) y *Coryphaena hippurus* (dorado). En la lancha ribereña se colocó un observador y operaron cerca de la costa, en esteros y manglares y su captura fue multiespecífica.

Los pargueros utilizaron tres artes de pesca, según temporada y recurso: 1) palangre horizontal de fondo, que consta de una línea madre de la cual penden anzuelos circulares (13.0, 14.0, 16.0). Es utilizado para la captura de cherna roja (*Hyporthodus acanthistius*). En cada lance se utilizaron de 600 a 1200 anzuelos y el tiempo de permanencia del palangre en el agua fue de 6 a 12 horas. 2) El palangre horizontal superficial, que es utilizado en la captura de dorado, con 500 a 600 anzuelos circulares (13.0 y 14.0). El tiempo de permanencia del palangre en el agua fue de 5 a 8 h; y 3) línea vertical de fondo, utilizada para la captura pargo seda (*Lutjanus peru*) y mancha (*L. guttatus*) y cherna de profundidad, gris y mantequilla (*H. niphobles* y *Epinephelus cifuentesis*, respectiva), posee menor número de anzuelos (10-20 anzuelos), tipo circular (9.0 y 10.0). Las carnadas utilizadas fueron sardinas, congos (Ariidae), juanco (*Euthynnus lineatus*), calamares y tiburón (Vega et al., 2016).

En la lancha ribereña se utilizaron redes agalleras, denominadas trasmallos por los pescadores locales, con apertura de malla 3.0” (7.62 cm) y 3.5” (8.89 cm). La lancha operó con 2 a 8 paños de aproximadamente 120 a 130 m de largo cada uno. El tiempo de permanencia de la red agallera en el agua varió entre 2 y 4 h.

**Golfo de Montijo:** Los muestreos se realizaron entre marzo de 2013 y enero de 2014, utilizando dos embarcaciones de pesca ribereña de 9 m de eslora, con un capitán y un marino. Las artes utilizadas fueron redes agalleras, con características de diseño similar al descrito para el GCH. Se utilizaron de 2 a 6 paños por embarcación y el tiempo de pesca fue de 2 a 5 horas por lance y palangre de superficie con 500 anzuelos circulares 13.0.

**Muestreos a bordo de las embarcaciones:** Las especies capturadas fueron identificadas con la utilización de literatura especializada (Bussing y López, 1993; Fischer et al., 1995; Robertson and Allen, 2008; Martínez-Ortiz, 2010). Después de identificado se registraron las variables morfométricas y reproductivas: Longitud total (LT) (cm) desde la punta del hocico hasta la punta terminal del lóbulo superior de la aleta caudal. En las rayas se midió desde la punta del hocico hasta la punta terminal de la aleta caudal, el peso (PT), con una pesa digital (kg) (en hembras preñadas no se excluyeron los embriones, pseudoplacenta y demás componentes derivados). Se determinó

el sexo, por la presencia de cláster (órganos copuladores) en machos. Adicionalmente se registró la medida del cláster, desde la parte posterior de la cloaca hasta la parte distal, así como el grado de calcificación, considerando sexualmente maduros a los machos con cláster calcificados, rotación, apertura del rifiodón (punta distal del cláster) y con espermatozoides en los ductos deferentes. Los estadios de madurez se establecieron con base en los criterios de (Clark and Von Schmidt, 1965; Sidders *et al.*, 2005), que consideran la condición del testículo y la calcificación del cláster en los machos, y la condición de los ovarios, glándulas nidamentales, saco uterino, color y tamaño de las ovas en las hembras.

**Muestreos de desembarque:** Se identificaron las especies y se registraron las tallas por embarcación, así como la condición reproductiva de los ejemplares desembarcados. Para recolectar esta información se contó con el apoyo de una comercializadora local en Puerto Remedios.

**Análisis estadístico:** Se utilizó la U de Mann Whitney y la prueba Kruskal-Wallis para comparar las tallas capturadas entre las diferentes artes de pesca y la prueba Bonferroni de Kruskal-Wallis para comparaciones múltiples de tallas, para un  $\alpha = 0.05$  (Zar, 2009). Para estandarizar el esfuerzo de pesca se contabilizó la cantidad de especímenes capturados por cada 1 000 anzuelos utilizados. En el caso de las redes agalleras se estimó a partir del número de tiburones entre los lances realizados, con un promedio de cuatro redes por lance y 2 a 4 horas de duración.

Se registró la coordenada geográfica del sitio de pesca y especies capturadas y se mapeo con el uso del programa ArcGIS. Los análisis estadísticos se realizaron con la ayuda del programa IBM-SPSS 25.0.

## Resultados

### Golfo de Chiriquí

**Muestreos a bordo de embarcaciones:** se capturaron 796 individuos, incluidos en 22 especies de elasmobranchios (14 tiburones y 8 rayas) pertenecientes a 10 familias (5 tiburones y 5 rayas) (Tabla 1).

Tabla 1. Tiburones y rayas capturadas por la pesca artesanal en el Golfo de Chiriquí (marzo 2009- agosto 2010). Se incluye su estatus en la Lista Roja de la UICN (2022): Peligro Crítico (CR), En Peligro (EN), Vulnerable (VU), Casi Amenazado (NT), Preocupación Menor (LC), Datos Insuficientes (DD)

Familia	Especie	Nombre común	Estatus UICN
<b>Tiburones</b>			
Alopiidae	<i>Alopias pelagicus</i>	Zorro	
	<i>Carcharhinus cerdale</i>	Tollo	CR
	<i>Carcharhinus limbatus</i>	Puntinegro	NT
Carcharhinidae	<i>Galeocerdo Cuvier</i>	Tigre	NT
	<i>Rhizoprionodon longurio</i>		VU
	<i>Triaenodon obesus</i>	Punti blanco	VU
	<i>Nasolamia velox</i>	Trompa blanca	EN
	<i>Sphyrna media</i>	Martillo/ gorrua	CR
Sphyrnidae	<i>Sphyrna corona</i>	Paleta blanca	CR
	<i>Sphyrna tiburo</i>	Martillo/ gorrua	EN
	<i>Sphyrna lewini</i>	Martillo/ gorrua	CR
	<i>Mustelus lunulatus</i>	Cazón	LC
Triakidae	<i>Mustelus dorsalis</i>	Tiburón tolo	VU
Ginglymostomatidae	<i>Ginglymostoma unami</i>	Gata	DD
<b>Rayas</b>			
Dasyatidae	<i>Hypanus longus</i>	Raya	VU
	<i>Mobula munkiana</i>	Manta	VU
Myliobatidae	<i>Aetobatus laticeps</i>	Raya pintada	VU
	<i>Pseudobatos leucorhynchus</i>	Raya guitarra	VU
Rhinobatidae	<i>Zapteryx xyster</i>	Raya	VU
	<i>Pseudobatos glaucostigma</i>	Raya	VU
Urotrygonidae	<i>Urotrygon chilensis</i>	Raya	NT
Rajidae	<i>Rostroraja velezi</i>	Raya	VU

Las tallas en tiburones estuvieron entre 35.5 cm y 230.0 cm de LT, con pesos de 0.10 kg a 14 kg, y las rayas de 56 cm a 156 cm y el peso de 0.73 kg a 73 kg, indistintamente de la especie

capturada. En el caso de los tiburones, *Sphyrna lewini* aportó el 56.70% del total de individuos, seguido por *Carcharhinus cerdale* con el 12.10%, *Mustelus lunulatus* con 9.43%, *C. limbatus* con 7.55% y *Nasolamia velox* con 6.74%. El resto de las especies no aportaron más del 5% de manera individual a la captura total (Tabla 2). Para las rayas, de las 8 especies capturadas, *Pseudobatos leucorhyncus* aportó el 27.27%, *Hypanus longus* 22.73% y *Zapterix xister* el 18.18% (Tabla 2).

Tabla 2. Tallas, pesos y aporte porcentual por especie de tiburones y rayas capturados por la pesca artesanal en el Golfo de Chiriquí

Especie	LT (cm)				PT (kg)					
	Mín.	Máx.	Media	S	Mín.	Máx.	Media	S	N	%
Tiburones										
<i>Sphyrna lewini</i>	39.5	216.3	66.7	21.6	0.3	11.0	1.6	1.8	417	56.7
<i>Carcharhinus cerdale</i>	35.5	97.0	65.9	16.1	0.1	4.3	1.4	1.1	90	12.1
<i>Mustelus lunulatus</i>	50.6	132.7	90.9	19.6	0.5	8.6	3.1	1.9	70	9.4
<i>Carcharhinus limbatus</i>	51.1	135.0	82.29	26.3	0.4	14.6	4.3	4.2	55	7.6
<i>Nasolamia velox</i>	59.2	148.5	97.7	22.0	0.6	13.6	5.3	3.4	50	6.7
<i>Sphyrna tiburo</i>	35.7	118.5	56.3	25.3	0.1	6.5	1.2	2.0	24	3.2
<i>Sphyrna media</i>	34.9	61.0	48.7	9.7	0.1	9.7	4.5	3.9	9	1.2
<i>Sphyrna corona</i>	41.0	103.0	77.8	22.4	0.2	6.4	2.7	2.2	7	0.9
<i>Galeocerdo cuvier</i>	89.5	110.5	100.0	12.1	2.2	6.8	4.5	2.6	4	0.5
<i>Mustelus dorsalis</i>	46.0	68.5	59.6	10.4	0.0	1.0	0.5	0.4	4	0.5
<i>Rhizoprionodon longurio</i>	47.0	55.3	51.2	5.9	0.3	0.4	0.4	0.1	2	0.3
<i>Alopias pelagicus</i>	144.8	230.0	182.7	37.7					2	0.3
<i>Ginglymostoma unami</i>									2	0.3
<i>Triaenodon obesus</i>	95.6				4.45				1	0.1
Rayas										
<i>Pseudobatos leucorhyncus</i>	56.0	68.4	61.3	4.6	0.9	15.2	10.1	4.9	6	27.3
<i>Hypanus longus</i>	94.5	225.0	153.5	54.9	18.8	75.0	46.9	39.7	5	22.7
<i>Zapteryx xister</i>	52.2	74.3	65.3	10.9	0.4	1.5	0.9	0.5	4	18.2

<i>Pseudobatos glaucostigma</i>	66.5	66.5	66.5			2	9.1
<i>Urotrigon chilensis</i>	60.5			8.0		2	9.1
<i>Aetobatus laticeps</i>	67.8			10.3		1	4.6
<i>Mobula munkiana</i>	67.0					1	4.6
<i>Rostroraja velezi</i>	71.6			2.4		1	4.6

El 97.6% de los tiburones capturados estaban muertos y el 2.4% vivos. El 57.59% de las capturas con palangre de fondo, palangre superficial o línea vertical fueron utilizados como carnada, el 41.54% se destinó a la venta y menos del 1% fue liberado.

**Aspectos reproductivos:** de los 742 tiburones capturados, se revisó la condición reproductiva de 414, donde 40 presentaron algún indicio de madurez (9.66%). El promedio de madurez, considerando sólo las especies donde se reportaron individuos maduros, fue de 35.75%, influenciado por las especies que aportan poco a las capturas, pero que presentaron individuos maduros. Por especie, la mayor cantidad de individuos maduros se presentó en *M. dorsalis* (75%) y *S. media* (71%), seguido de *M. lunulatus* y *S. corona* con 50% cada uno, los cuales presentaron cláspes maduros, esperma, embriones o se encontraban en alguno de los estadios de desarrollo gonadal (Tablas 3).

Tabla 3. Tallas y aspectos reproductivos de los tiburones adultos capturados por la pesca artesanal en el Golfo de Chiriquí, Pacífico panameño. LT: largo total, LCL: longitud del cláspes, EMB: cantidad de embriones y maduros en tiburones, %: porcentaje de especímenes adultos, N: total de tiburones analizados, S: sexo, E: machos con esperma, ED: estadio de desarrollo, N1: cantidad de individuos adultos por sexo, Mes: periodo donde se capturaron, Me: promedio, Mi: mínimo, Ma: máximo

Especie	LT (cm)			LCL (cm)			EMB			%	N	S	E	ED	N1	Mes
	Me	Mi	Ma	Me	Mi	Ma	Me	Mi	Ma							
<i>C. cerdale</i>	86.7	72.5	97	7.5			5			12.2	90	H	M2	10	Nov, ene	
												M	1	M1	1	
<i>C. limbatus</i>	135.6									2.4	41	H	M2	1	Ene	

<i>M. dorsalis</i>	56.7	46	67						6	4	8	75	4	H	M2	3	Mar.
<i>M. lunulatus</i>	96.7	55.5	118.5	6.4	5	7.3	7	3	15	50	32			H	M2	11	Dic, ene, mar.
														M	3	M1	5
<i>S. corona</i>	94.5	86	103	7.3						50	4			H	M1	1	Dic, mar
														M	M1	1	
<i>S. lewini</i>	216.3			17.2						0.4	232			M	M1	1	May.
<i>S. media</i>	105.9	88.6	119.5	7.4	7.3	7.5	15	13	17	71	7			H	M1	1	
															M2	2	Mar.
														M	M1	2	
<i>S. tiburo</i>	113.2									25	4			H	M1	1	Nov.

**Distribución de las capturas:** las capturas ocurrieron en todos los sitios de pesca muestreados excepto las familias Ginglymostomatidae y Alopiidae, de las cuales se capturaron pocos ejemplares, hacia la parte abierta del GCH. La familia Sphyrnidae, presentó una captura diferencial de las especies, donde *S. corona*, *S. media* y *S. tiburo* estuvieron presentes en la pesca realizada cerca de la costa, con redes agalleras, y *S. lewini*, además de ser la más representativa en las capturas, su captura ocurrió desde la zona costera hasta la parte externa del GCH (Fig. 1).

**Análisis de las capturas:** Se analizó la captura de 53 giras de pesca: 26 con palangre de fondo (117 lances), 4 con palangre de superficie (29 lances) y 23 con redes agalleras (250 lances). La frecuencia del uso del arte estuvo ligada a la presencia del recurso que se buscaba. La línea vertical fue utilizada para la captura de pargos (seda y mancha) y chernas de profundidad (mantequilla y gris) y no capturó tiburones de manera importante, solo tres individuos, uno en noviembre y dos en enero.

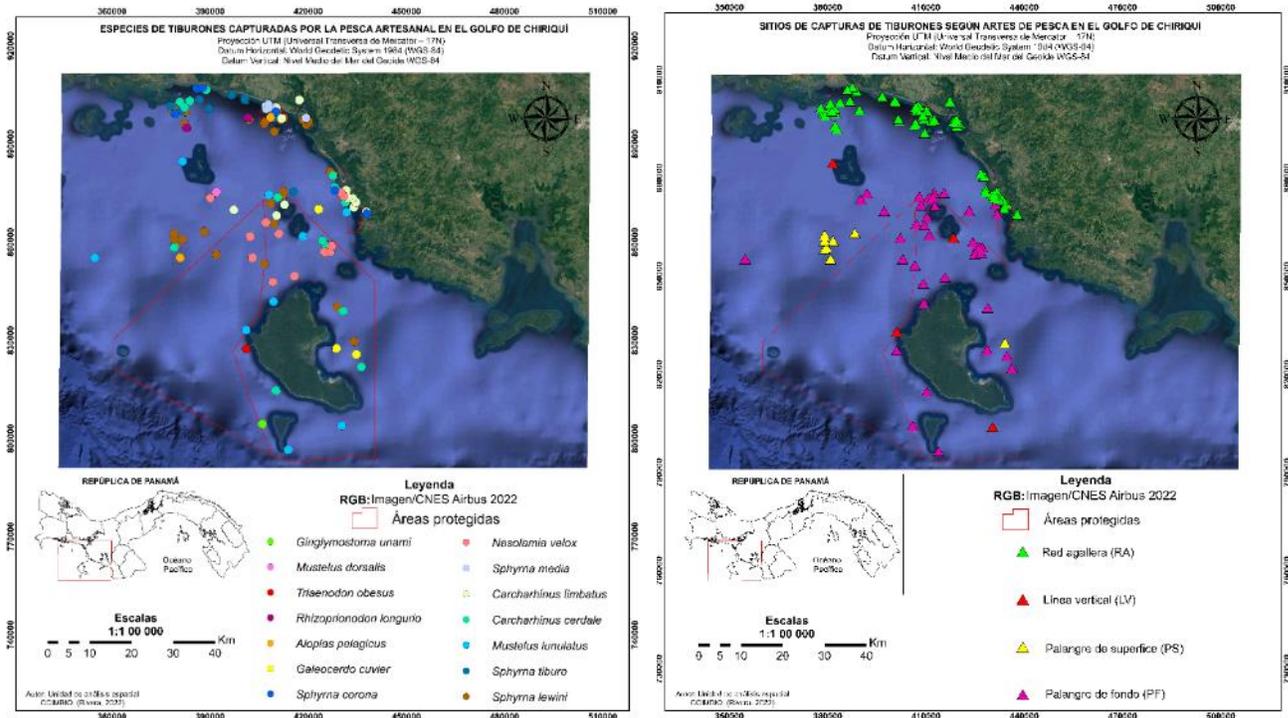


Fig. 1. Sitios de captura y especies de tiburones capturadas por la pesca artesanal en el Golfo de Chiriquí

Con el palangre de fondo, utilizado en la pesca de cherna roja, se capturaron 335 tiburones, con la mayor cantidad de individuos en el mes de octubre. Con el palangre superficial, utilizado para la pesca de dorado, se capturaron solamente 11 individuos, en noviembre y diciembre, meses de mayor actividad en la pesca de dorado. Las redes agalleras son utilizadas todo el año y con ellas se capturaron 405 ejemplares de tiburones, con picos de abundancia en mayo y septiembre. Estos resultados indican que las mayores capturas incidentales con palangre de fondo y redes (PS) agalleras se dieron entre mayo-junio y de agosto a noviembre (Fig. 2).

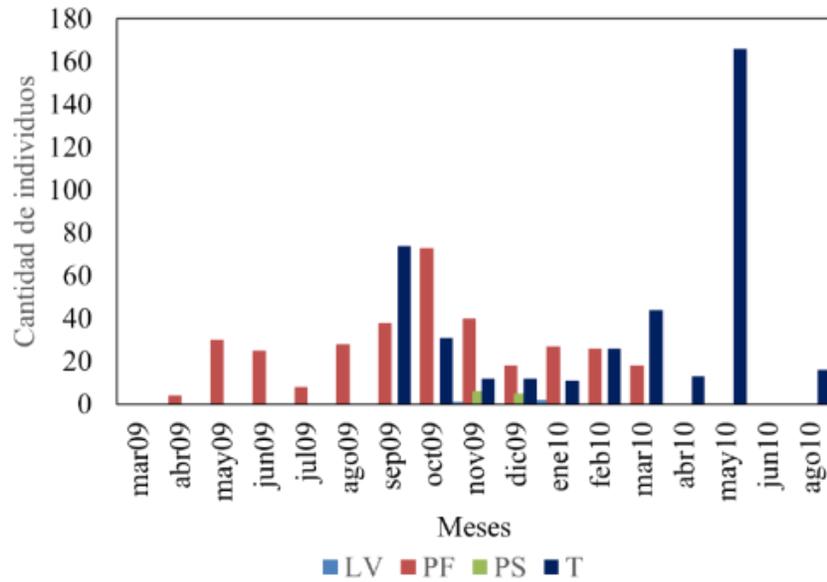


Fig. 2. Cantidad de tiburones capturados con líneas verticales (LV), palangre de fondo (PF), palangre superficial (PS) y redes agalleras (T)

### Captura por unidad de esfuerzo

**Redes agalleras:** se capturaron 405 individuos (9 especies y 4 familias), la mayor frecuencia de capturas ocurrió en septiembre 2009 y mayo 2010, con *S. lewini* como la especie más frecuente (67%), seguido por *C. cerdale* y *C. limbatus* con un 10% y las otras especies con menos del 2% de las capturas. El esfuerzo total registrado con red agallera fue de 250 lances. La CPUE promedio fue de 1.95 ind. /lance (DE = 2.12, N = 11), registrándose en mayo la mayor CPUE, 7.5 ind. /lance (Fig. 3).

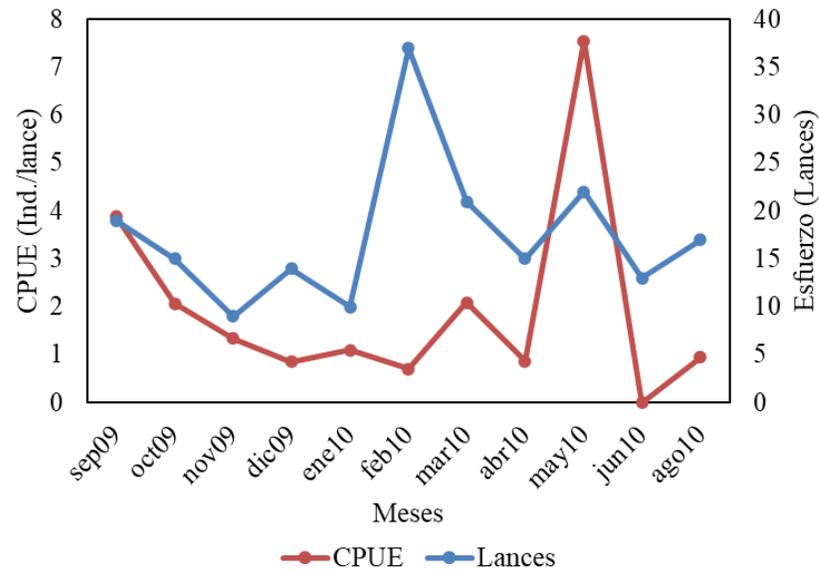


Fig. 3. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en la pesca con red agallera en el Golfo de Chiriquí. Septiembre de 2009-agosto de 2010

**Palangre de fondo:** se capturaron 335 tiburones, 11 especies y 5 familias, con la mayor captura en octubre (73 tiburones) y noviembre (40 tiburones) del 2009. Las especies más frecuentes fueron *S. lewini* (42%), *M. lunulatus* (19.7%), *C. cerdale* (15.2%) y *N. velox* (14%). El resto de las especies obtuvieron bajos valores porcentuales.

El esfuerzo total registrado con palangre de fondo fue de 78 415 anzuelos, con mayor esfuerzo durante el segundo semestre del 2009. La CPUE fue mayor en mayo (8.3 ind./1 000 anz.) y septiembre (10.56 ind./1 000 anz.). El valor medio de la CPUE fue de 4.78 ind./1 000 anz. (Fig. 4).

**Palangre superficial:** se capturaron 11 ejemplares, *S. lewini* (63%), *A. pelagicus* (27.2%) y *C. cerdale* (9%). Se utilizaron un total de 13 533 anzuelos, con un promedio de captura de 0.8 tiburones/1 000 anz.

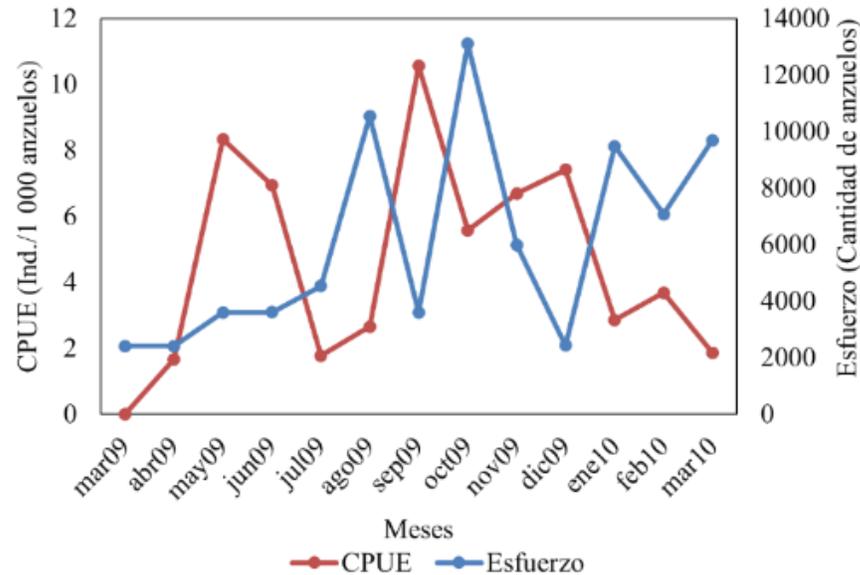


Fig. 4. Esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) con el palangre de fondo utilizado en la pesca de cherna roja (*Hyporthodus acanthistius*) en el Golfo de Chiriquí. Abril 2009-marzo 2010

**Línea vertical:** sólo se capturaron tres ejemplares de tiburón mamón, *M. lunulatus*, en noviembre 2009 y enero 2010.

**Análisis de talla en función al arte:** el arte de pesca incidió en la talla de captura (Kruskal-Wallis,  $P < 0.05$ ). Indistintamente de la especie, con redes agalleras se capturaron tiburones más pequeños (promedio =  $55.9 \pm 14.6$  cm), comparado con el palangre de fondo (promedio =  $90 \pm 22.01$  cm) y superficie (promedio =  $115.1 \pm 31.9$  cm) (Bonferroni de Kruskal-Wallis,  $P < 0.05$ ) (Fig. 5). Cuando el análisis se hizo por especie, se observó que con las redes agalleras (malla 3) se capturó una fracción de la población de menor tamaño, comparado con los palangres (Fig. 6).

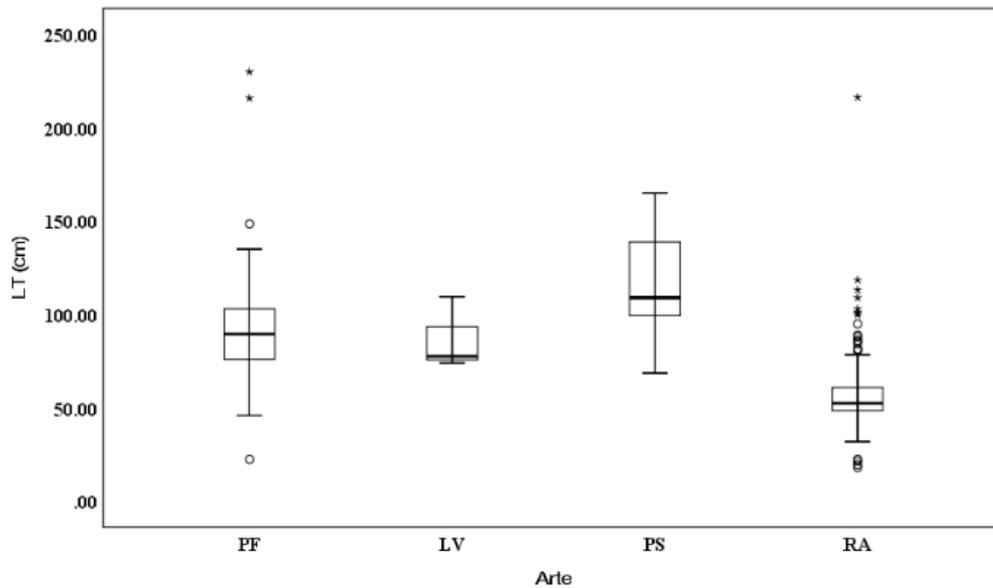


Fig. 5. Relación entre el tamaño del tiburón capturado y el arte de pesca utilizado, indistintamente de la especie. PF: palangre de fondo, LV: línea vertical, PS: (palangre de superficie, RA: Red agallera. Muestras realizadas en el Golfo de Chiriquí

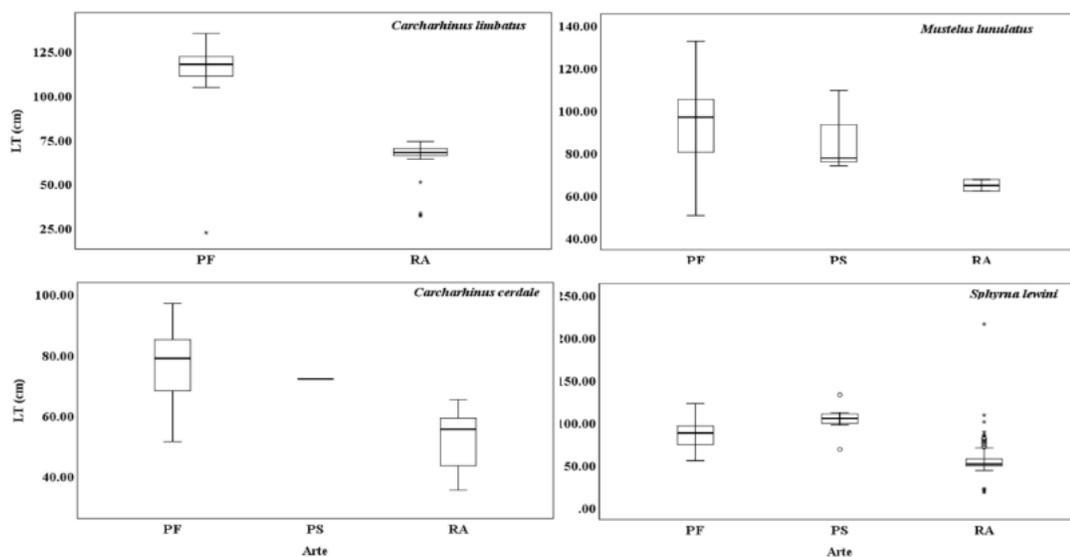


Fig. 6. Relación entre el arte de pesca utilizado y la talla del tiburón capturado, análisis por especie. PF: Palangre de fondo, PS: Palangre de superficie, RA: Red agallera

**Muestreos de desembarques:** Trece embarcaciones de pesca ribereña realizaron entre uno y cuatro viajes y desembarcaron entre uno y 60 tiburones, en promedio  $10 \pm 14.8$  por viaje de pesca (Fig. 7).

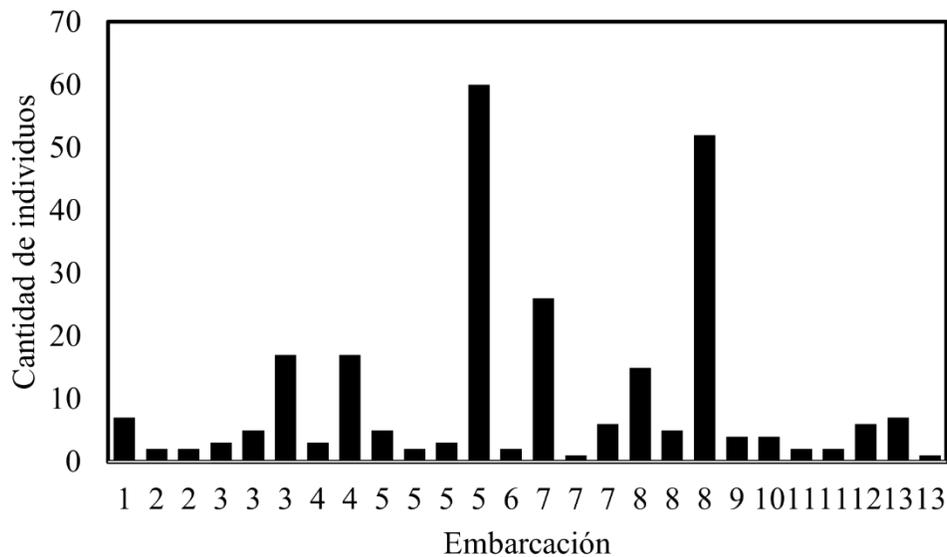


Fig. 7. Abundancia de tiburones desembarcados, expresado en número de individuos/embarcación/viaje. Muestreos realizados en Puerto Remedios (octubre 2009-marzo 2010). Cada número representa una embarcación y la repetición del número la cantidad de viajes que se muestrearon

En número, *S. lewini* fue la especie predominante en los desembarques (60%), seguido por *S. corona* (22%). Otras especies importantes fueron *C. cerdale* (9%), *C. limbatus* (7%) y *M. lunulatus* junto a *A. pelagicus* que aportaron solo el 2% de la captura total.

De *S. lewini* se examinaron 72 hembras y 65 machos, todos inmaduros y de *S. corona* 27 machos, 5 de los cuales estuvieron maduros, con LT del cláster superior a 8 cm, y 21 hembras. Se obtuvieron 7 hembras y 14 machos de *C. cerdale*, no se observaron machos maduros. Las hembras en *C. limbatus* fueron más abundantes que los machos con una proporción sexual de 10:1. Solo se registró un macho maduro con la LT del cláster > 8 cm.

**Golfo de Montijo**

se capturaron 526 tiburones distribuidos en ocho especies, cuatro de la familia Sphyrnidae y cuatro Carcharhinidae. Las capturas ocurrieron en diferentes localidades del GM, desde áreas

estuarinas, en desembocaduras de ríos, hasta la zona externa, en aguas con salinidades altas. En las zonas interna se capturó a *S. lewini*, *S. tiburo* y *C. leucas*. En la zona media externa todas las especies, excepto *C. leucas* (Fig. 8).

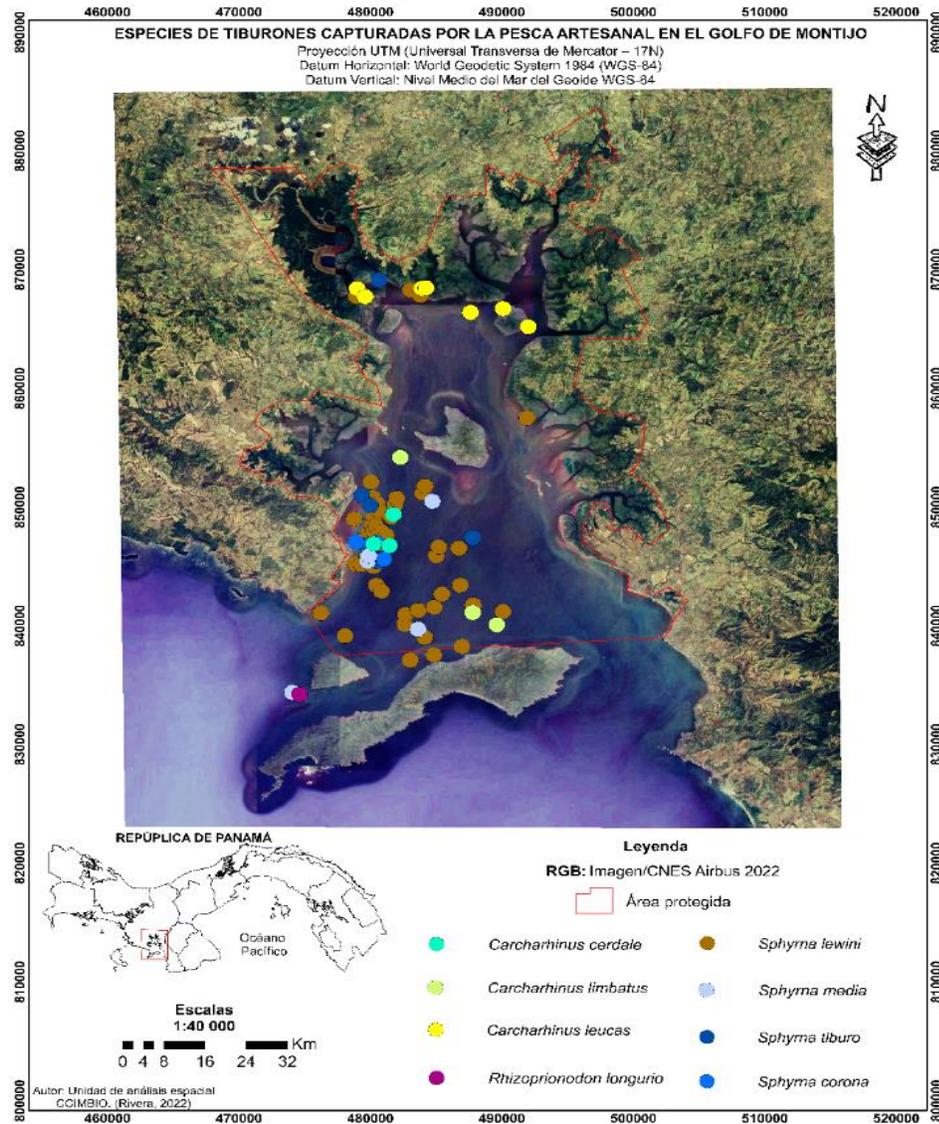


Fig. 8. Especies de tiburones capturadas por la pesca artesanal según sitio de captura Golfo de Montijo, Pacífico panameño.

La talla máxima, correspondió a un ejemplar de *S. lewini* con 101.20 cm, seguido de *C. leucas* con 101.20 cm y la mínima de 29.3 cm de longitud total de *Sphyrna corona*. La mayor frecuencia en

las capturas correspondió a *S. lewini* con un 83.65%, el resto de las especies aportaron menos del 5% cada una (Tabla 4). Indistintamente de la especie, las capturas obtenidas con palangre resultaron de mayor talla que las obtenidas con redes agalleras (U de Mann-Whitney Test,  $p = 0.000$ ).

La CPUE con redes agalleras fue de 5.49 ejemplares/lance y con palangre de 1.24 ejemplares/1 000.

Tabla. 4. Tallas, pesos y aporte porcentual por especie de tiburón capturada por la pesca artesanal en el Golfo de Montijo. Muestreos realizados entre marzo de 2013 y enero de 2014

Fam.	Especie	LT (cm)				PT (kg)				N	%
		Media	Mín.	Máx.	DE	Media	Mín	Máx.	DE		
Carcharhinidae	<i>Carcharhinus leucas</i>	90.19	75.50	101.20	6.50	5.73	2.86	8.64	1.32	19	3.61
	<i>C. limbatus</i>	71.86	62.00	78.60	5.33	1.77	0.78	2.70	0.62	10	1.90
	<i>C. cerdale</i>	56.35	39.50	99.30	28.72	1.97	0.23	6.94	3.31	4	0.76
	<i>Rhizoprionodon longurio</i>	71.30	71.30	71.30		1.50	1.50	1.50		1	0.19
Sphyrnidae	<i>Sphyrna lewini</i>	54.55	34.00	103.60	7.40	0.70	0.22	5.40	0.38	440	83.65
	<i>S. tiburo</i>	52.05	32.50	80.00	18.96	0.69	0.10	2.12	0.71	24	4.56
	<i>S. corona</i>	61.72	29.30	77.50	14.94	0.97	0.10	1.90	0.56	19	3.61
	<i>S. media</i>	60.71	39.80	81.00	15.50	1.08	0.26	2.48	0.80	9	1.71

**Condición reproductiva:** de 388 ejemplares analizados casi todos fueron inmaduros 1 o 2, donde apenas se observan las ovas en las hembras, o cláster parcialmente calcificado en los machos, excepto en *S. corona* que, de 17 ejemplares, cuatro hembras presentaron madurez 1 o 2, con ovas amarillas en el saco uterino (Tabla 5).



presencia de 5 especies de tiburones capturadas de manera incidental, por la pesca artesanal en el GM, donde destaca la dominancia de *Sphyrna lewini* y *Carcharhinus cerdale*. Batista y Bernal (2008) para la zona sur de Veraguas, comunica igual comportamiento en las capturas, a pesar de que evaluó la pesquería artesanal dirigida, resultando *S. lewini* con un 57% y *C. cerdale* con un 27% de abundancia, en número de individuos, las dominantes. Robles et al. (2015), para manglares de David, Pacífico panameño, reporta ocho especies capturadas, con dominancia de *S. lewini* (49%) y *C. cerdale* (28%).

Un factor común a los estudios publicados para el Pacífico panameño, es que los muestreos fueron previos al 2015, por lo que es importante actualizar la evaluaciones para determinar si la composición de las especies, en las capturas de la pesca artesanal, no ha variado en los últimos años.

Fue evidente la temporalidad de la captura de elasmobranquios, los meses de mayor captura para el Golfo de Chiriquí fueron mayo, septiembre y octubre. Vega (2004) indica que, para el Golfo de Montijo, la mayor captura se registró entre marzo, junio y septiembre. Maté (2005), señala que para el Golfo de Montijo y el Golfo de Chiriquí la presencia y captura de tiburones ocurre principalmente en la época seca (mediados de diciembre a abril) prefiriendo como zonas de pesca de tiburones a las Islas Contreras, Coiba, Islas Paridas, Cébaco, Ladrones y Playa Honda. En el Pacífico de Costa Rica, se registran picos de captura por unidad de esfuerzo en septiembre – octubre (López-Garro et al., 2009).

Los análisis de abundancia relativa y de los estados reproductivos de los individuos capturados, respaldan el hecho de que *S. lewini* es la especie más impactada por la pesca artesanal en los golfos de Chiriquí y Montijo, tanto por la pesca con redes agalleras, como con palangre, sobre todo de fondo. El solo hecho que de los 232 individuos de *S. lewini* a los cuales se le verificó la condición reproductiva, sólo un macho resultó maduro, es indicativo del efecto del arte y de las zonas de pesca sobre la fracción juvenil de esta especie, a diferencia de especies como *S. corona*, *S. media*, *M. lunulatus* y *C. cerdale*, en cuyas capturas aparecieron individuos adultos.

El porcentaje promedio de madurez de todas las especies con individuos maduros fue de 35.75%. Dicho promedio estuvo influenciado por las especies poco frecuentes en las capturas. Si el cálculo se realiza con todas las especies, el porcentaje de madurez baja a 6.3% y si sólo consideramos a *S. lewini*, especie más importante en las capturas, entonces el porcentaje es inferior a uno.

La talla promedio de *S. lewini*, fue de 66.7 cm de LT, muy cercana a las tallas de nacimiento reportadas, 41-51 cm LT (Clarke, 1971; Bejarano-Álvarez, 2007) y extremadamente alejada de los reportes de tallas de primera madurez, en los machos entre 170 y 190 cm LT con gonopterigios de 14 cm (Branstetter, 1987; Martínez-Ortiz y Galván-Magaña, 2007; Álvarez, 2007) y de hembras, 223 cm LT (Bejarano-Álvarez, 2007; Bizarro et al., 2009, Martínez y Galván, 2007). Torres-Huerta (1999) menciona que la fecundidad de esta especie es de 32 embriones con una talla de nacimiento de 49 cm LT, para el noreste de México.

Las capturas de *C. cerdale* también estuvieron constituidas en gran parte por especímenes inmaduros. De 90 ejemplares a los cuales se les revisó el grado de madurez, un macho de 75.9 cm de LT y 10 hembras (72.5 a 99 cm LT) resultaron maduras, y de las hembras una presentó embriones, cinco en total. Su congénere, *C. limbatus*, a pesar de que la talla promedio de captura fue superior (78.57 cm), sólo un individuo de 41 analizados resultó maduro (un macho de 135.6 cm). En el caso de *C. limbatus*, la talla de primera madurez determinada en el Archipiélago de los Roques-Venezuela, fue de 120 a 190 cm de LT para hembras y 135 a 180 cm de LT, en machos (Tavares y Provenzano, 2000), talla que coincide con el único macho maduro registrado en este estudio.

Amplios intervalos de tallas fueron observados en *N. velox*, generalmente individuos grandes (Promedio = 97.7 cm, 59-149 cm de LT). No se observaron individuos maduros a pesar de que la madurez se alcanza a partir de los 106 cm (Navia et al., 2006), aunque la talla máxima reportada es de 340 cm de LT (Martínez-Ortiz, 2010).

La mayoría de las especies de *Mustelus* son consideradas como especies pequeñas, que alcanzan su madurez a pequeñas tallas, comparadas con las otras especies (Compagno, 1984). Los ejemplares maduros observados de *M. lunulatus* estuvieron arriba de los 70 cm LT, mientras que para *M. dorsalis* por encima de los 45 cm LT, esta última dentro de lo reportado, 50 cm LT para hembras y 54.1 cm LT para machos en el Golfo de Nicoya-Costa Rica (Rojas, 2006). Este autor indica que *M. lunulatus* presenta entre 4 y 10 embriones, en nuestro estudio se comunican de 3 a 15 embriones para *M. lunulatus* y de 4 a 8 para *M. dorsalis*.

*Alopias pelagicus* presentó tallas menores a las reportadas para la primera madurez sexual de 261 cm LT para machos y 270 cm LT para hembras (Martínez-Ortiz y Galván-Magaña, 2007), menor a la encontrada por Baigorri-Santacruz y Polo-Silva (2004), de 260 cm LT en Manta Ecuador. *Galeocerdo cuvier*, *Rhizoprionodon longurio*, *Ginglymostoma unami* y *Triaenodon obesus* estuvieron pobremente representados en las capturas, coincidiendo con los registros obtenidos por Batista y

Bernal (2008), en la costa suroeste del Golfo de Montijo y Arriatti et al. (2021), para el Pacífico panameño. Esto probablemente asociado a las zonas de pesca, ya que los pescadores artesanales evitan el uso de redes agalleras en zonas rocosas y de arrecifes de coral, hábitat donde se encuentran *Ginglymostoma unami* y *Triaenodon obesus*.

Evaluaciones realizadas en la pesca artesanal para Costa Rica, involucrando redes agalleras y palangres de fondo y superficie, mostraron diferencias en cuanto a la dominancia de especies capturadas, donde *Mustelus henlei* aportó el 63.7%, seguido por *M. lunulatus* (16.7%) y *S. lewini* sólo aportó un 6.1% (Rojas, 2006). Esta relación de especies es similar a lo comunicado para el Golfo de California, donde el género *Mustelus*, aportó más del 80% de las capturas (Pérez et al., 2005). En este sentido, Rojas et al. (2000) indicaron que, en Costa Rica, *M. dorsalis* aportó más del 30% a las capturas, seguidos por *C. falciformis*, *Nasolamia velox* y *S. lewini*, con un 15% cada una y que, para Panamá, *C. limbatus*, *C. longimanus* y *S. lewini* aportaron alrededor del 15% cada una. Probablemente para Panamá, está información combina descargas industriales y artesanales, y no corresponde al escenario actual, pues el presente estudio identifica a *S. lewini* con más del 50 % a las capturas procedentes de la pesca artesanal, similar a los reportado por Arriatti et al. (2021), para el Pacífico panameño.

**Aspectos pesqueros:** con redes agalleras la CPUE fue variable en el esfuerzo y estacional en el año, aumentando en el mes de mayo. Este aumento estuvo influenciado por la especie *S. lewini*, la más abundante en los desembarques en Puerto Remedios, representada en su gran mayoría por juveniles, concordando con los estudios realizados por Batista y Bernal (2008) en Puerto Nance en la costa Sureste del Golfo de Montijo-Panamá, donde señalan que en el mes de junio hubo mayor frecuencia de captura probablemente asociada a la entrada de reproductores adultos al Golfo de Montijo.

Se ha documentado el uso de aguas costeras por *S. lewini* para el alumbramiento, alimentación y protección de las crías, así como el uso de islas oceánicas como sitio de permanencia o de escala en los movimientos migratorios (Compagno, 1984; Nalesso et al., 2019). Individuos pequeños de *S. lewini* también forman el principal componente de las pesquerías artesanales de Puerto Nance (Batista y Bernal, 2008) y Manglares de David (Robles et al., 2015), golfos de Chiriquí, Montijo y Panamá (Arriatti et al., 2021), Michoacán, en la Costa Pacífico de México (Madrid-Vera et al., 1997), en el Pacífico de Guatemala (Castillo y Morales, 2021) y Pacífico de Nicaragua (Hernández-Fernández et al., 2021).

Con palangre de fondo, la CPUE fue relativamente baja (4.8 ind./1 000 anz.), estos resultados son consistentes con el estudio de Tavares (2005) donde la captura incidental de tiburones no fue significativamente importante, reportando solamente dos especies que obtuvieron valores porcentuales bajos en la composición de la pesca. La captura estuvo dominada por *S. lewini*, con tallas superiores a las obtenidas con redes agalleras, pero sin alcanzar la talla de la primera madurez. Esto es debido a dos factores: el primero relacionado a la selectividad de la pesca y el segundo, al comportamiento de la especie, donde a medida que las embarcaciones se alejan de la costa tienden a capturar tiburones martillos de mayor tamaño, reflejando una relación directa entre la autonomía de la embarcación y las tallas de los individuos capturados. Este comportamiento coincide con lo reportado por Guzmán et al. (2020), al analizar datos de pesca artesanal e industrial en el Pacífico de Panamá.

En este estudio las capturas de tiburones con palangre superficial (0.8 ind./1000 anz.) fue menor a las reportadas por Araúz et al., (2004) en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Costa Rica (6.89 ind./1 000 anz.). A pesar de que la CPUE fue baja, este arte es considerado en España como el más dañino por el número de capturas, la mayoría de ellas formadas por grandes tiburones pelágicos y en menor medida, por atunes y picudos. Tanto es así, que se le podría considerar como una pesquería multiespecífica, ya que el arte puede ser ligeramente modificado en función de si el objetivo es el pez espada, los atunes o los tiburones. Las capturas declaradas por este arte fueron de 43 493 Tm para 2006 y 45 170 Tm, para 2007 en el Atlántico Norte, siendo *Prionace glauca* la especie capturada en mayor proporción, por encima del 80 % (Bartolí, 2009).

El uso del palangre de superficie en la pesca artesanal en el Golfo de Chiriquí está asociado a la captura del dorado. En este sentido Lasso y Zapata (1999) indicaron una relación entre los picos de captura de dorado y la migración de *S. lewini*, común entre los meses de marzo y abril, y la del toyo tinto (*Alopias vulpinus*) entre agosto y noviembre. Nuestros muestreos fueron realizados entre noviembre y diciembre, razón por la cual probablemente la CPUE de tiburones fue baja.

*S. lewini*, *A. pelagicus* y *C. cerdale* fueron las especies que obtuvieron mayores porcentajes de captura, pero al igual que la mayoría de los tiburones capturados con los otros artes, estos presentaron tallas pequeñas e inmaduras. Fue nula la captura de rayas con este arte en el estudio, sin embargo, Lasso y Zapata (1999) reportaron una especie de la familia mobulidae (*Manta birostris*) asociada al uso de palangre de superficie.

Los tiburones son un recurso que rápidamente ha ido cobrando mayor importancia comercial dentro del sector pesquero artesanal e industrial panameño, no sólo por su creciente demanda (debido a la alta calidad de su carne), sino por la disminución de las capturas de las llamadas especies tradicionales. Cuando el pescador no obtiene el recurso que busca, rápidamente dirige su esfuerzo a la captura de tiburones, según el pescador para “salvar la pesca”, o sea, capturar tiburones se convierte en una alternativa ante las bajas capturas de las especies objetivo, pasando la captura de tiburones, de pesca incidental a dirigida (Batista y Bernal, 2008).

Sin duda, como señala Talwar et al. (2022), se necesita generar información, sobre todo de la pesca a pequeña escala, para lograr la protección efectiva de las especies amenazadas, y un manejo eficiente de las pesquerías, con la particularidad de que algunas especies de tiburones son altamente migratorias, y extremadamente susceptibles a la actividad pesquera, por lo que es imprescindible se trabaje en programas y políticas regionales de monitoreo y manejo. Adicionalmente, hay que considerar que todas las especies analizadas están en algún estatus de riesgo dentro de la lista roja de la UICN, además de que las más frecuentes (*S. lewini* y *C. cerdale*) están en peligro crítico.

### Conclusiones

Para los golfos de Chiriquí y Montijo se reportó la captura de 22 especies de tiburones y rayas, en un alto porcentaje juveniles y neonatos, sobre todo de *Sphyrna lewini*, especie más impactada por la pesquería. Por arte de pesca, las mayores capturas ocurrieron con redes agalleras y palangre de fondo y se determinó un aumento de las tallas a medida que las capturas se alejan de la costa, aunque sin llegar a tallas de madurez, en la mayoría de las especies.

### Declaración de autoría

Angel Javier Vega: conceptualización, consecución de fondos, análisis de datos, escritura de borrador, revisión y edición.

Yolani Robles: supervisión de trabajo de campo, control de calidad de la base de datos, escritura de borrador y versión final.

Fernando Quezada: muestreo a bordo de pargueros en GCH y en embarcaciones ribereñas en GM, digitación datos

Luis Montes: Muestreo en pangas en GCH, digitación de datos

Annisamyd del Cid: muestreo de desembarque, digitación de datos

Olmedo Quintero: Muestreo en parguero en GCH, digitación de base de datos

### Agradecimientos

Se agradece a Universidad de Panamá, a la Fundación MarViva, Conservación Internacional y a la Secretaría Nacional de Ciencia Tecnología e innovación (SENACYT) por el apoyo financiero. A los pescadores artesanales del Golfo de Montijo y de puerto Remedios por facilitar la presencia de observadores a bordo en sus embarcaciones. A los pares revisores por sus observaciones que contribuyeron en la mejora del manuscrito.

### Citas Bibliográficas

- Alejo-Plata, C., Ramos-Carrillo, S. y Cruz-Ruiz, J. L. (2006) La pesquería artesanal del tiburón en Salina Cruz, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*, 30, 37–51
- Arauz, R., Cohen, Y., Ballesteros, J., Bolaños, A. and Pérez, M. (2004). *Decline of shark populations in the Exclusive Economic Zone of Costa Rica*. In International Symposium on Marine Biological Indicators for Fisheries Management. UNESCO, FAO. Paris, France.
- Arriatti, Y. R., Tavares, R. and Alvarado, S. (2021). Assessment of the artisanal shark fishery in the Pacific coast of Panama highlights a high proportion of immature and threatened species. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 16(2), 189-195. [https://panamjas.org/artigos.php?id\\_publici=243](https://panamjas.org/artigos.php?id_publici=243)
- Bartolí, A. (2009). España: Una potencia mundial en la pesca de tiburones. Revisión de las pesquerías españolas de tiburones, problemáticas de gestión y recomendaciones de mejora. *SUBMON*. <https://n9.cl/lj4ri>
- Baigorri-Santacruz, A. J. y Polo-Silva, C. J. (2004). *Espectro trófico de dos especies de tiburón zorro, (Chondrichthyes: Alopiidae) *Alopias pelagicus* Nakamura, 1935 y *Alopias superciliosus* (Lowe, 1839), en Playa Tarqui Manta, Ecuador*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Bogotá, Jorge Tadeo Lozano. Colombia.
- Batista, M. y Bernal, L. (2008). *Evaluación de la pesquería artesanal de tiburones en la costa suroeste del Golfo de Montijo, Puerto Nance, Provincia de Veraguas*. Tesis de licenciatura. Universidad de Panamá.
- Bejarano-Álvarez, M. (2007). *Biología reproductiva del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834) en Salina Cruz, Oaxaca, México*. Dissertation, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas - Instituto Politécnico Nacional.
- Bizzarro, J. J., Smith, W. D., Hueter, R. E., Tyminski, J., Márquez-Farías, J. F., Castillo-Géniz, J. L., ... and Villavicencio-Garayzar, C. J. (2009). *El estado actual de los tiburones y rayas sujetos*

*a explotación comercial en el Golfo de California: una investigación aplicada al mejoramiento de su manejo pesquero y conservación.* Technical Publication 2009–02. <http://hdl.handle.net/1834/20226>.

- Branstetter, S. (1987). Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico. *Environmental Biology of Fishes*, 19(3), 161-173. <https://doi.org/10.1007/BF00005346>.
- Castillo, C. G. A. and Morales, O. S. (2021). Characterization of the artisanal elasmobranch fisheries off the Pacific coast of Guatemala. *Fishery Bulletin*, 119(1), 3-10. <https://doi.org/10.7755/FB.119.1.2>
- Castro, J. I. (1983). *The Sharks of North American Waters*. Texas A. and M. University Press, USA.
- Bussing, W. y López, M. (1994). Peces demersales y pelágicos costeros del Pacífico de Centroamérica Meridional. Guía Ilustrada. *Revista de Biología Tropical*, 47 (Suplemento), 47-164
- CITES (2022). *Apéndices I, II y III*. <https://cites.org/esp/app/appendices.php>
- Clarke, T. A. (1971). The ecology of the scalloped hammerhead shark, *Sphyrna lewini*, in Hawai'i. *Pacific Science*, 25, 133–144.
- Clark, E. and von Schmidt, K. (1965). Sharks of the central Gulf coast of Florida. *Bulletin of Marine Science*, 15(1), 13-83.
- Compagno, L. J.V. (1984) *Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 2. Carcharhiniformes*. FAO Fish.Synop., (125), 4, 251-655
- FAO. (2021). *Better data collection in shark fisheries – Learning from practice*. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1227. Rome.
- Fischer, W., Krupp, F., Schneider, W., Sommer, C., Carpenter, K. y Niem, V.H. (1995). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico centro-oriental. vols. I–III*, 1813 p. FAO: Rome, Italy.
- Fowler, S. L., Cavanagh, R. D., Camhi, M., Burgess, G. H., Cailliet, G. M., Fordham, S. V., Simpfendorfer, C. A. and Musick, J. A. (comp. and ed.). (2005). *Sharks, rays and chimaeras: the status of the chondrichthyan fishes. Status survey*. IUCN/SSC Shark Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge. U.K.
- Fricke, R., Eschmeyer, W. N. & Van der Laan, R. (eds) 2022. *ESCHMEYER'S CATALOG OF FISHES: GENERA, SPECIES, REFERENCES*. <https://n9.cl/a9pmd>. Electronic version consultado el 07 dic. 2022.
- Galeana-Villaseñor, I., Galván-Magaña, F. y Santana-Hernández, H. (2009). Pesca con anzuelos en barcos palangreros del Océano Pacífico mexicano: efectos en la captura y peso de tiburones y otras especies. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), 163-172. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572009000100016>

- Guzman, H. M., Cipriani, R., Vega, A. J. & Morales-Saldaña, J. M. (2020). Fisheries and conservation assessment of sharks in Pacific Panama. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30(2), 315-330. <https://doi.org/10.1002/aqc.3245>
- Hernández-Fernández, G. M., Quintana, B., Lara, S. y Santamaria, F. (2021). Captura de peces elasmobranquios provenientes de la pesca artesanal en las playas de PoneLOYA y las Peñitas, León, Nicaragua. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 7(14), 1766-1776. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v7i14.13007>
- Lasso, J. and Zapata, L. (1999). Fisheries and biology of *Coryphaena hippurus* (Pisces: Coryphaenidae) in the Pacific coast of Colombia and Panama. *Sci. Mar.*, 63 (3-4): 387-399. <https://doi.org/10.3989/scimar.1999.63n3-4387>.
- López-Garro, A., Arauz-Vargas, R., Zanella, I. y Le-Foulgo, L. (2009). Análisis de las capturas de tiburones y rayas en las pesquerías artesanales de Tárcoles, Pacífico Central de Costa Rica. *Journal of Marine and Coastal Sciences*, 1, 145-157. <http://dx.doi.org/10.15359/revmar.1.8>
- Madrid, J., Sánchez, P. and Ruiz, A. (1997). Diversity and abundance of a tropical fishery on the Pacific shelf of Michoacán, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 45(4), 485-495. <https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0219>
- Martínez-Ortiz, J. y Galván- Magaña F. (Eds). (2007). *Tiburones en el Ecuador: Casos de estudio/ Shark in Ecuador: Cases Studies. EPESPO-PMRC. Manta, Ecuador.*
- Martínez-Ortiz, J. (2010). *Guía de campo para la identificación de los principales tiburones del Océano Pacífico Oriental*. Proyecto APEC FWG 01/2001 T. Primera edición. Guayaquil Ecuador.
- Maté J. L. (2005). *Análisis de la situación de la pesca en los Golfos de Chiriquí y de Montijo*. The Nature Conservancy. Panamá.
- Montaño, C. E., Figueroa, L. y Magaña, F. G. (2009). Hábitos alimenticios del tiburón martillo *Sphyrna lewini* (Griffith and Smith, 1984) (Chondrichthyes) en el Pacífico ecuatoriano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44 (2), 379-386. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000200011>.
- Musick, J. A., Branstetter, S. and Colvocoresses, J. A. (1993). *Trends in shark abundance from 1974 to 1991 for the Chesapeake Bight region of the US Mid-Atlantic Coast*. In: Branstetter, S. (ed.): Conservation biology of elasmobranchs. – NOAA Technical Report NMFS 115: 1–18. Google Scholar
- Nalesso, E., Hearn, A., Sosa-Nishizaki, O., Steiner, T., Antoniou, A., Reid, A., ... and Arauz, R. (2019). Movements of scalloped hammerhead sharks (*Sphyrna lewini*) at Cocos Island, Costa Rica and between oceanic islands in the Eastern Tropical Pacific. *PloS one*, 14(3), e0213741. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213741>

- Návalo, J., Mark, J., Victoria, V. and Morales-Saldaña, J. M. (2021). A preliminary assessment of shark captures by a small-scale fishery in the central Caribbean coast of Panama. *Journal of Applied Ichthyology*, 37(5), 790-794. <https://doi.org/10.1111/jai.14211>
- Navia, A. F., Hleap, J. S., Ramírez-Luna, V., Gaitán-Espitia, J. D. y Tobón, M. A. (2011). Familia Carcharhinidae. En Mejía-Falla, P.A., A.F. Navia y V. Puentes (Eds.). *Guía para la identificación de especies de tiburones, rayas y quimeras de Colombia*, 136-137. Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Pacoureau, N., Rigby, C. L., Kyne, P. M., Sherley, R. B., Winker, H., Carlson, J. K. ... and Dulvy, N. K. (2021). Half a century of global decline in oceanic sharks and rays. *Nature*, 589(7843), 567-571. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03173-9>
- Pérez, J. C., Sosa, O. and Castillo, J. (2005). A new Eastern North Pacific smoothhound shark (Genus *Mustelus*, Family *Triakidae*) from the Gulf California. *Copeia*, 4: 834-845.
- Quiroz, J. C., Wiff, R., Gatica, C. y Leal, E. (2008). Composición de especies, tasas de captura y estructura de tamaño de peces capturados en la pesquería espinelera artesanal de rayas en la zona sur-austral de Chile. *Latin american journal of aquatic research*, 36(1), 15-24. <https://doi.org/10.4067/s0718-560x2008000100002>
- Ramírez R. y Medina, E. (1999). *Diagnóstico pesquero del recurso tiburón en Panamá*. Informe Técnico. Autoridad Marítima de Panamá (AMP).
- Ripley, W. E. (1946). The biology of the soupfin. *Galeorhinus zyopterus*, California. *Division of Fish and Game Fishery Bulletin*, 64, 1-37.
- Robertson, D. R. y Allen, G. R. (2008). *Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de Información en línea*. Versión 1.0 (2008). Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, Balboa, República de Panamá. [www.neotropicalfishes.org/sfstep](http://www.neotropicalfishes.org/sfstep).
- Robles, Y. A., Montes, L. A. y Vega, Á. J. (2015). Caracterización de la captura de tiburones por la pesca artesanal en los manglares de David, Golfo de Chiriquí, Pacífico de Panamá. *Tecnociencia*, 17(1), 11-30.
- Rojas, J. R. (2006). Reproducción y alimentación del tiburón enano *Mustelus dorsalis* (Pisces: *Triakidae*) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica: Elementos para un manejo sostenible. *Revista de Biología Tropical*, 54(3), 861-971.
- Rojas M., J., Campos M., J., Segura, Álvaro, Mug V., M., Campos, R., & Rodríguez, O. (2000). Shark fisheries in Central America a review and update (ESP). *Uniciencia*, 17(1), 49-56.
- Campos, J., Segura, Á., Campos, R. and Rodríguez, O. (2000). Shark fisheries in Central America a review and update. *Uniciencia*, 17(1), 49-56.
- Sidders, M., Tamini, L., Perez, J. y Chiaramonte, G. (2005). Biología reproductiva del gatuzo *Mustelus schmitti* Springer, 1939 (Chondrichthyes, *Triakidae*) en el área de Puerto Quequén, Provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 7(1), 89-101.

- Smith, S. E. (1990). Leopard shark *Triakis semifasciata* distribution, mortality rate, yield, and stock replenishment estimates based on a tagging study in San Francisco Bay. *Fish. Bull.*, 88, 371-381.
- Stevens, J. D. (1992). Blue and mako shark by-catch in the Japanese longline fishery off South-eastern Australia. *Marine and Freshwater Research*, 43(1), 227-236.
- Tavares, R. (2009). Análisis de abundancia, distribución y tallas de tiburones capturados por la pesca artesanal en el Parque Nacional Archipiélago los Roques, Venezuela. *Interciencia*, 34(7), 463-470.
- Tavares, R. y Provenzano, F. (2000). Alimentación de los juveniles del tiburón macuira, *Carcharhinus limbatus* (Valenciennes, 1839), en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques, Venezuela. *Acta Biol. Venez*, 20(1), 59-67.
- Talwar, B. S., Anderson, B., Avalos-Castillo, C. G., del Pilar Blanco-Parra, M., Briones, A., Cardeñosa, D., ... & Dulvy, N. K. (2022). Extinction risk, reconstructed catches, and management of chondrichthyan fishes in the Western Central Atlantic Ocean. *Fish and fisheries*, 23(5), 1150-1179.
- Thorson, T. B. (1987). Human impacts on shark populations. *Sharks: an inquiry into biology, behavior, fisheries and use*, 31-37.
- Torres-Huerta, A. M. (1999). *Observaciones sobre la biología reproductiva de la cornuda barrosa Sphyrna lewini (Griffith and Smith, 1834) (Pisces: Sphyrnidae) en aguas del Noroeste de México*. Tesis de Licenciatura, Escuela de Estudios Profesionales, Campus Iztacala, UNAM, México.
- Vega, A., J. (2004). *Estudio Biológico del Recurso Pesquero en el Golfo de Montijo*. Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI).
- Vega, A. J., Robles P., Y. A. y Maté, J. (2016). *La pesca artesanal en el Parque Nacional Coiba y zona de influencia. Biología y pesquería de sus principales recursos con recomendaciones de manejo*. Fundación MarViva. Ciudad de Panamá, Panamá
- UICN (2022). Red list. Consultado el 9 de diciembre de 2022. <https://n9.cl/w40ym>.
- Watson, J. T., Essington, T. E., Lennert-Cody, C. E. and Hall, M. A. (2009). Trade-offs in the design of fishery closures: management of silky shark bycatch in the Eastern Pacific Ocean tuna fishery. *Conservation Biology*, 23(3), 626-635. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01121.x>.
- Worldwildlife (WWF) (2022). Momento histórico para tiburones y rayas durante la clausura de la CoP19 de CITES. Consultado el 06 de diciembre de 2022. <https://n9.cl/3p6xp>
- Zar, J. H. (2009). *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. Nueva Jersey, USA