



Biología-Química-Física
Matemática-Estadística



TECNOCIENCIA

Volumen 24 N°. 2



ISSN 2415-0940 (En línea)

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

julio - diciembre, 2022

Directora de Investigación y Postgrado, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología

Dra. Magaly de Chial. mdechial@yahoo.com.mx

Editor

Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, eduardo.camachoa@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0001-9339-486X> ;

Consejo Editorial

Mgter. Roberto Cambra

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Museo de Invertebrados. roberto.cambra@up.ac.pa
<https://orcid.org/0000-0002-3799-4710>

Dr. Enrique Medianero.

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, enrique.medianero@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-8430-9034>

Dr. Armando Durant.

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, armando.durant@up.ac.pa

Mgter. Aurora Mejía

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Estadística. aurora.mejia@up.ac.pa

Dr. Janzel Villalaz

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, janzel.villalaz@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0001-8914-3216>

Mgter. Jacobo Araúz

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. jarauzg@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4143-8300>

Dr. Jaime Gutiérrez

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, jaime.gutierrez@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5941-3892>

Dra. María de Stapf

Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. <https://orcid.org/0000-0002-8095-5899>

Dr. Josep Batlló Ortiz

Institut Cartografic I Geologic, Barcelona Cataluña, España

Josep.batlo@icgc.cat <https://orcid.org/0000-0002-2493-3070>

Dr. Bruno Zachrisson

Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP). Panamá, República de Panamá.

bruno.zachrissons@idiap.gob.pa <https://orcid.org/0000-0002-8219-7438>

Dr. Luis Wong Vega

Vicerrectoría de Investigación y Postgrado: luis.wongv@up.ac.pa /luis.wong.vega@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-0139-6134>

Dr. Fernando Gómez Merino

Colegio de Postgraduados de México

fernandg@colpos.mx

Dr. Edgardo Castro

Genética y Biología Molecular

edgardo.castro@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0003-4884-9479>

Comité de diagramación, estilo y producción

Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia

Universidad de Panamá - Editor Jefe

Michelle Ferrín

Universidad de Panamá - Secretaria

Lic. Samuel Rodríguez - Universidad de Panamá - Técnico

Autoridades de la Universidad de Panamá

Eduardo Flores Castro

Rector

José Emilio Moreno

Vicerrector Académico

Jaime Javier Gutiérrez

Vicerrector de Asuntos Estudiantiles

Mayanín Rodríguez

Vicerrector de Asuntos Estudiantiles

Ricardo Him Chi

Vicerrector Administrativo

José Luis Solís

Director de Centros Regionales

Ricardo A. Parker D.

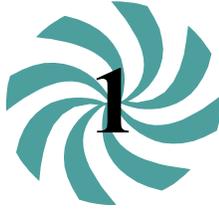
Secretaría General

José de la Montaña López

Decano de la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología

Índice

Título	Página
EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CURSOS NASE EN PANAMÁ 2011-2021	5-15
REGISTRO DE YAGUARUNDI (<i>Herpailurus yagouarondi</i>) EN EL BOSQUE COMUNAL EL COLMÓN DE MACARACAS, LOS SANTOS, PANAMÁ	16-25
PRIMER REPORTE DE <i>CAROLLIA SOWELLI</i> (FAMILIA: PHYLLOSTOMIDAE, SUBFAMILIA: CAROLLINAE) EN EL ESTE DE LA REPUBLICA DE PANAMÁ	26-33
TOMOGRAFÍA SÍSMICA DE REFRACCIÓN APLICADA A HIDROGEOLOGÍA EN EL RINCÓN DE SANTA MARÍA	34-47
INTELIGENCIA ARTIFICIAL: LA CAJA DE HERRAMIENTAS VIRTUALES AL SERVICIO DE LA BIOINFORMÁTICA	48-65
UN MODELO MATEMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE PACIENTES CON SINTOMAS COVID-19	66-77
INTENTO DE DEPREDACIÓN SOBRE <i>EPTESICUS FURINALIS</i> (FAMILIA: VESPERTILIONIDAE) POR <i>PHYLLOSTOMUS DISCOLOR</i> (FAMILIA: PHYLLOSTOMIDAE; SUBFAMILIA: PHYLLOSTOMINAE) EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ	78-85
NIVELES SONOROS EN LA ZONA HOSPITALARIA DEL BARRIO LA EXPOSICIÓN - CIUDAD DE PANAMÁ.	86-102
PROSPECCIÓN ENDOPARASITOLÓGICA EN SIETE ESPECIES DE VIPÉRIDOS EN CAUTIVERIO, PANAMÁ.	103-117
IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ELECTROQUÍMICA DE BAJO COSTO PARA EL ANÁLISIS DE DIAZINON EN SUELO	118-139



NOTA CORTA

EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS CURSOS NASE EN PANAMÁ 2011-2021

Adam's Martínez¹ Eduardo Chung¹ Vicente Forero¹ Ernesto Urriola¹
Eduardo Saenz¹

¹Universidad de Panamá, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá.

adams.martinez@up.ac.pa  eduardo.chungng@up.ac.pa 
vicente.forero@up.ac.pa  ernesto.urriola@up.ac.pa 
eduardo.saenzg@up.ac.pa 

RESUMEN

NASE (Network for Astronomy School Education) se constituyó en la Asamblea General de la IAU en Río de Janeiro en 2009 con el propósito de entrenar docentes en la enseñanza de la astronomía usando materiales baratos y fáciles de conseguir para lograr una enseñanza más interactiva esto a través de diversos talleres diseñados por expertos en el área. Formablemente los cursos NASE comienzan a dictarse a partir del 2010, aunque en el 2009 se realizaron algunos cursos pilotos, en Panamá estos cursos comienzan a dictarse a partir del 2011.

A más de diez años de los inicios de los cursos NASE en Panamá, presentamos un análisis en retrospectiva, nuestro objetivo es dar a conocer el estado de los cursos en nuestro país, así como la experiencia que se ha logrado en la formación docente en el área de ciencia, específicamente en astronomía. El curso NASE desde su inicio en nuestro país se han un total de 12 ediciones, se han formado 27 instructores y se han capacitado más de 200 educadores de diferentes regiones del país.

PALABRAS CLAVES

IAU, NASE, Astronomía, Astrofísica.

EVALUATION OF THE IMPLEMENTATION OF THE NASE COURSES IN PANAMA 2011-2021

ABSTRACT

NASA (Network for Astronomy School Education) was created in the General Assembly of IAU in Rio de Janeiro in 2009. Its purpose was to train teachers in the teaching of astronomy using cheap and easy to obtain materials. So that this area could be instructed in an interactive way with the help of workshops designed by specialists in the field. Formally speaking, NASE courses start in 2010, with some pilot courses occurring in 2009, in Panama they begin in 2011.

Ten years after the start of NASE Panama, we present a hindsight analysis, with the objective of letting others know its condition and the experience that has grown in science teachers, specifically in astronomy. From its beginning until now our country has had a total of 12 editions, 27 trained instructors, and more than 200 educators in different regions.

KEY WORDS:

IAU, NASE, Astronomy, Astrophysic.

INTRODUCCIÓN

El curso NASE (Network for Astronomy School Education) es la red para la enseñanza de la Astronomía en los colegios, nace en el año 2009, “Año Internacional de la Astronomía” como un grupo de trabajo en la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (IAU), cuyo propósito principal es la de educar a las nuevas generaciones de maestros y docentes de Ciencias Naturales y reeducar a los actuales con los objetivos de enseñar astronomía a los maestros y capacitar a los maestros en la enseñanza de la astronomía.

La astronomía es una de disciplinas del conocimiento que mayor interés atrae en el público en especial en los jóvenes y niños, conocimientos de astronomía deben impartirse en diversos niveles del sistema educativo panameño dentro de las áreas de ciencia. En los cursos de Ciencia de 3° a 9° donde se les debe enseñar a los niños jóvenes los movimientos de la Tierra, los eclipses de lunares y solares, la estructura del sistema solar, los cuerpos mayores y menores, la estructura del Sol y los planeta, vida y evolución de las estrellas, así como nociones sobre el origen del

Universo. Los docentes de Ciencias por lo general carecen de formación básica en Astronomía y como consecuencia cuando tienen que impartir estos temas en los cursos de Ciencia no hacen énfasis en ellos o

simplemente no son abordados. Por lo anterior es fundamental cursos de perfeccionamiento que le den herramientas didácticas y metodológicas que les permitan a los docentes enseñar los conceptos básicos de Astronomía que es una de las disciplinas que atrae con mayor facilidad el interés de los niños y jóvenes hacia la Ciencia.

Los cursos NASE en su planeación se distribuyen en 10 talleres y cuatro conferencias, dividido en tres áreas: Astronomía, Astrofísica y Astrobiología. Además, conlleva dos grupos de trabajo, dos noches de observaciones y al final de cada curso se hace una encuesta de satisfacción.

Una de las fortalezas de los cursos NASE es que las actividades fueron diseñadas por expertos en el área de la Astronomía y Astrofísica, para su implementación se utilizan materiales de bajo costo, de manera que los maestros y docentes de primaria y de pre-media, de forma tal que puedan contar con las herramientas para impartir estos temas en el salón de clases. Estos cursos también logran despertar el interés y la motivación de los maestros y profesores por la Astronomía, motivación e interés que trasladan a sus estudiantes.

Uno de los propósitos fundamentales de los cursos NASE como lo indica su nombre es crear una red para la educación escolar de la Astronomía, para divulgar y potenciar la Ciencias y lograr a largo plazo un aumento de las vocaciones de los jóvenes en las disciplinas científicas. Para esto se recurre a la permanente formación de nuevos instructores en estos cursos. El objetivo de este trabajo es divulgar el estado de los cursos NASE en Panamá desde el 2011 al 2021.

METODOLOGÍA DE LOS CURSOS NASE

Cada edición del curso NASE consta de cuatro conferencias abarcando tópicos como la *Evolución estelar* cuyos objetivos son comprender la evolución estelar, los procesos que la determinan, el diagrama Hertzsprung-Russell y el concepto de magnitud absoluta y aparente; *Cosmología* nos lleva comprender la evolución del Universo desde el

Big Bang hasta nuestros días, conocer la organización de la materia y la energía en el Universo, además de analizar la manera en que los astrónomos pueden conocer la historia del Universo; *Historia de la*

Astronomía nos plantea una visión general de la historia de la Astronomía en diferentes áreas del planeta (incluyendo la panameña) de una manera superficial, pero mostrando que la Astronomía ha sido y es de interés para todos los pueblos, mencionar las grandes figuras de la historia de la Astronomía que dieron un vuelco a la forma de enfocar dicha área del conocimiento hasta llegar a Newton como Tycho-Brahe, Copérnico, Kepler, y Galileo; y por último pero no menos importante *El Sistema Solar* nos ubica en lugar que ocupa el sol en el Universo, conocer que objetos lo forman y los detalles de los diferentes cuerpos a él pertenecen, especialmente de los más destacados.

Los talleres en marcados en el curso son: *Horizonte Local y Relojes de Sol* cuyo objetivo es comprender los movimientos diurno y anual del Sol, así como el movimiento de la bóveda celeste y la construcción de un reloj de Sol; *Simuladores del movimiento de las estrellas, el Sol y la luna* nos da una mejor comprensión de los movimientos de las estrellas, el sol y la luna para las diferentes latitudes; *Estudio de eclipses lunares y solares* nos brinda posibilidad de comprender porque la luna tiene fase, la causa de los eclipses de luna, el motivo de los eclipses de Sol y determinar distancias y diámetros del sistema Tierra-Luna-Sol; el *Maletín del Joven Astrónomo* que mediante la construcción de diversos instrumentos de medición en Astronomía, con materiales de bajo costo, no lleva a comprender la importancia de realizar observaciones cuidadosas utilizando los diversos instrumentos construidos; el taller *Espectro Solar y Manchas Solares* nos permite comprender que es el espectro del Sol, el porqué del espectro del Sol, que son las manchas solares y la importancia histórica del trabajo de Galileo sobre las manchas solares; *La Vida de las Estrellas* nos plantea la diferencia entre magnitud aparente y magnitud absoluta, el diagrama Hertzsprung-Russell, los conceptos de supernova, estrella de neutrones, púlsares y agujero negro; *Astronomía fuera del visible* nos muestra fenómenos más allá de lo observable, y mediante experiencias sencillas que permiten determinar la existencia de emisiones no visibles en las regiones de las ondas de radio, infrarrojo, ultravioleta, microondas y rayos X; *Evolución del Universo* taller que busca la comprensión de la expansión del Universo, que no hay un centro del Universo y la ley de Hubble-

Lemaître, analizar cómo se detecta la materia oscura; *Planetas y Exoplanetas* tiene como objetivos el comprender que significa los valores numéricos que resumen las tablas de datos de los planetas del Sistema Solar y entender las principales características de los sistemas planetarios extrasolares mediante un paralelismo establecido con Júpiter y sus satélites galileanos; y el taller de *Astrobiología* muestra de donde surgen los diferentes elementos de la Tabla Periódica y las condiciones de habitabilidad necesarias para el desarrollo de la vida y manejar las directrices mínimas de la vida fuera de la Tierra.

Los temas para tratar en los grupos de trabajo pueden ser desde un debate de la enseñanza de la astronomía en la región, la aplicación de los conceptos de la Astronomía en la ciudad, una visita a sitios con Arqueoastronomía, o preparación para observaciones.

Las noches de observaciones astronómicas se eligen con los siguientes criterios: noches con cielo despejados, cerca de las fechas de la Luna Nueva o Luna Creciente, y de las efemérides astronómicas.

Hasta la fecha se han realizado más de 200 cursos NASE, desde junio del 2009, cuando se la primera edición en Ecuador. En el continente americano se han dado en 20 países, incluyendo a Panamá, siendo Argentina el país con más cursos NASE dictados, en el continente africano se han dado en 12 países, en el continente asiático se han dado en 10 países, siendo Irán el país con más cursos NASE dictado y en el continente europeo, tan solo se han dictado 5 países, siendo España el que más cursos ha dictado.

Durante este tiempo se han capacitado a 42 facilitadores miembros de la IAU, 743 facilitadores y se han formalizado 60 grupos de trabajo, cabe destacar que los cursos NASE en Argentina posee la certificación ISO 29990: 2013 Servicios de aprendizaje para la educación y la formación no formal.

En todos los cursos se realizó la encuesta de satisfacción, además de una evaluación al inicio y al final del curso, y un cuestionario en retrospectiva, después de unos años.

ANÁLISIS DEL CONTEXTO LOCAL

En Panamá se han realizado hasta el momento diez cursos NASE. El primer curso NASE se realizó en julio de 2011, figura 1, se invitaron a tres especialistas extranjeros, logrando formar cinco facilitadores

locales, capacitando a 48 maestros y docentes y se conformó el primer grupo de trabajo NASE Panamá.



Figura 1. Primer Curso NASE en Panamá, 18 al 22 de julio de 2011.

El siguiente curso NASE se realizó en febrero de 2018, contando con dos especialistas extranjeros en conjunto con los facilitadores locales, se logró conformar cinco facilitadores adicionales y capacitar a 37 nuevos maestros y docentes. El primer curso NASE en Chiriquí se realizó en noviembre de 2018, con un especialista extranjero y el equipo de facilitadores locales, en esta ocasión se duplicó los facilitadores locales, además de capacitar 23 maestros y docentes, logrando conformar el segundo grupo de trabajo NASE en Chiriquí. El primer curso NASE donde se realizó enteramente con facilitadores locales se realizó en febrero de 2019, capacitando a 19 maestros y docentes adicionales. El primer curso NASE en Santiago se realizó en noviembre de 2019, se capacitó a nueve facilitadores nuevos y capacitando a 39 maestros y docentes. El último curso NASE antes de la pandemia por Coronavirus se realizó en enero de 2020, capacitando a nueve maestros y docentes.

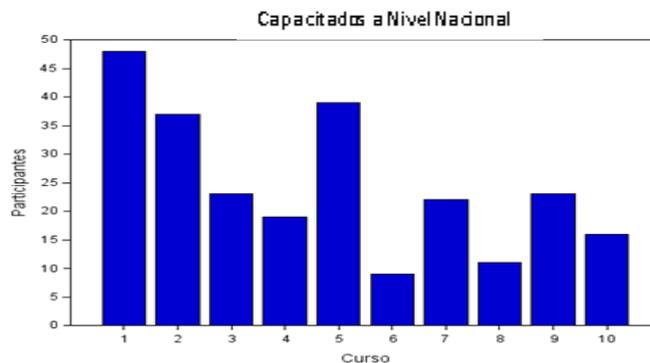


Figura 2. Cantidad de docentes capacitados en las diez ediciones del Curso NASE.

En el marco de la emergencia sanitaria por el Covid-19, se continuó trabajando, realizando el primer curso virtual y monográfico sobre Astrobiología, en junio de 2020 contó con una especialista extranjera, donde se capacitó a 22 docentes adicionales. El segundo curso monográfico se realizó un mes después con la participación de una especialista extranjera se capacitó a 11 nuevos docentes. Cabe mencionar que también hubo cursos NASE en cooperación, con la participación de un facilitador especialista externo y uno local, como las realizadas con la Sociedad de Astrónomos Aficionados de Coclé (Sirius SAAC) en octubre y en noviembre la Academia Internacional de Boquete y Sirius SAAC. Una tercera versión del curso monográfico se realizó en febrero de 2021, capacitando a una nueva facilitadora y a 23 docentes. El último curso completo NASE-Virtual fue realizado en 5 sábados en los meses de febrero y marzo de 2021, se contó con la participación de un especialista extranjero y se capacitó a 16 docentes.



La potencia del Sol y cómo medirla

ACTIVIDADES PARA REALIZAR Y ENVIAR

Realice la Experiencia 1 (con mancha de aceite), la Experiencia 2 (con la mejilla de la cara) o ambas, obtenga el valor para la Potencia del Sol y registre los resultados de cada Experiencia en la siguiente Tabla de Resultados.

Tabla de Resultados de la Potencia Solar				
Nombre del portafolio:	Eduardo Chung			
Escuela, País:	Universidad de Panamá, Panamá			
Estudiantes:	Keysi Bonilla, Shamari Johnson			
Día y hora:	Jueves 16 de mayo del 2019 a las 8:45 AM			
Tipo de Medición	Patrón	Resultados		
Experiencia 1: Mancha de aceite	Tipo de Bombilla	Potencia Indicada (W)	Distancia Bombilla-papel (m)	Potencia Solar calculada (W)
	De Filamento	200 W	$20,75 \cdot 10^{-2}$	$1,04 \cdot 10^{28}$ W
Experiencia 2: Mejilla de la cara	Tipo de Bombilla	Potencia Indicada (W)	Distancia Bombilla - cara (m)	Potencia Solar calculada (W)
	De Filamento	200 W	$15,95 \cdot 10^{-2}$	$1,77 \cdot 10^{28}$ W



Figura 3. Evidencias del uso de Talleres NASE en la educación.

Las Evaluaciones de Cursos NASE, nos permiten conocer aspectos importantes como el área del conocimiento y de desempeño del educador capacitado de manera que podemos conocer a que sectores de la población hemos llegado en estos 10 años, en la gráfica de la figura 4, podemos ver dicha distribución, donde el concepto de otros involucra áreas de conocimiento como ciencias sociales y las artes plásticas.

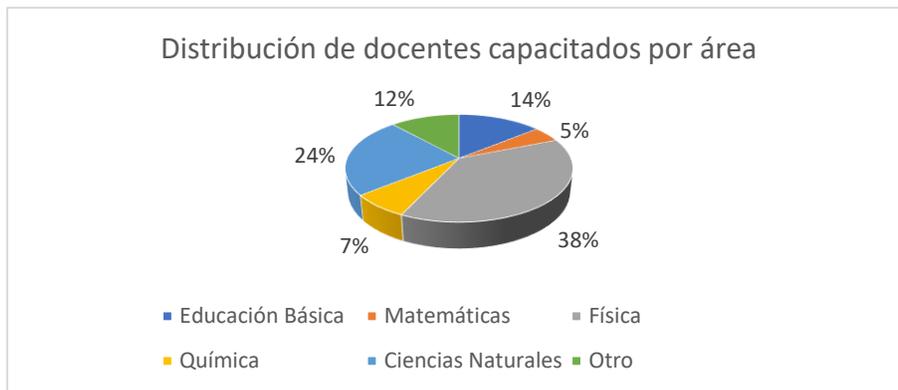


Figura 4. Distribución de docentes capacitados por áreas en los cursos NASE.

De la evaluación retrospectiva podemos ver que los objetivos se están alcanzando, los resultados los presentamos en la tabla 1.

Tabla 1 Resultados de Evaluación Retrospectiva

	Sí	No
¿Ha aplicado alguna de las lecciones realizadas?	90 %	10%
¿Ha utilizado la documentación proporcionada en el curso?	94%	6%
Después del curso, ¿ha cambiado su concepción de la astronomía?	88%	12%

Es importante señalar se nos hizo el reconocimiento al trabajo realizado al grupo local al mejor curso del 2019, figura 5.



Figura 5. Certificado de reconocimiento, al mejor curso NASE del 2019.

CONCLUSIONES

En conclusión, en estos 10 años se han realizado 10 cursos NASE, la red de facilitadores se ha extendido a 31 instructores y se han capacitado a 247 docentes a nivel primario, pre-media y media con resultados satisfactorios, se espera que en algún momento se pueda contribuir con la concepción astronómica de nuestros grupos originarios y poder promover y llevar estos cursos para que más docentes y maestros puedan tener estos conocimientos actualizados y las herramientas de bajo costo para el proceso de enseñanza – aprendizaje en las aulas.

Como resultados de la encuesta de satisfacción y retrospectiva, podemos concluir en general que los cursos representan un excelente seminario, donde los participantes estaban agradecidos por la enseñanza y los recursos brindados. También se logró aumentar la cantidad de instructores iniciales, ahora se tiene como meta de al menos duplicar la cantidad actual de instructores que existen en el país. Uno de los cambios que se van a realizar es el implementar el de cursos tipo seminario a cursos monográficos enfocados cada una estas áreas: Astronomía de Posición, Astrofísica y Astrobiología.

Estos cursos no se hubieran logrado realizar sin el apoyo decidido del Departamento de Física de la Universidad de Panamá, la Universidad Marítima Internacional de Panamá, la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, el Ministerio de Educación, de Astranova, Sirius SAAC y de la Unión Astronómica Internacional.

BIBLIOGRAFÍA

Alemany, C., Ros, R.M., Tierra paralela, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, EU-UNAWA, Barcelona, 2011

Lanciano, N., Strumenti per-i giardino del cielo, Edizioni junior, Spaggiari Eds, Roma, 2016

Ros, R.M., Laboratorio de Astronomía, Tribuna de Astronomía, 154, p.18-29, 1998.

Ros, R.M., Sunrise and sunset positions change every day, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.

Ros, R.M., Capell, A., Colom, J., El planisferio y 40 actividades más, Antares, Barcelona, 2005.

Ros, R.M., Lanciano, N., El horizonte en la Astronomía, Astronomía Astrofotografía y Astronáutica, 76, p.12-20,1995.

Ros, R.M., De l'intérieur et de l'extérieur, Les Cahiers Clairaut, 95, 1, 5, France, 2001.

Ros, R.M., Sunrise and sunset positions change every day, Proceedings of 6th EAAE International Summer School, 177, 188, Barcelona, 2002.
Fucili, L., García, B., Casali, G., “A scale model to study solar eclipses”, Proceedings of 3rd EAAE Summer School, 107, 109, Barcelona, 1999

Palici di Suni, C., Ros, R.M., Viñuales, E., Dahringer, F., Equipo de Astronomía para jóvenes astrónomos, Proceedings of 10th EAAE International Summer School, Vol. 2, 54, 68, Barcelona, 2006.

Costa, A, Sunlight Spectra, 3rd EAAE Summer School Proceedings, Ed. Rosa Ros, Brieu, 1999.

Costa, A, Simple Experiments with the Sun, 6th International Conference on Teaching Astronomy Proceedings, Ed. Rosa Ros, Barcelona, 1999.

Dale, A.O., Carroll, B.W, Modern Stellar Astrophysics, Addison-Wesley Publ. Comp., EUA, 1996.

Broman, L., Estalella, R. Ros. R.M, Experimentos en Astronomía, Ed. Alhambra Longman, Madrid, 1993.

Moreno, R, Experimentos para todas las edades, Ed. Rialp. Madrid, 2008.

Mignone, C., Barnes, R., More than meets the eye: how space telescopes see beyond the rainbow, Science in the School, Eiro Forum, 2014.

Moreno, R, Experimentos para todas las edades, Ed. Rialp. Madrid 2008.

Moreno, R, Taller de Astrofísica, Cuadernos ApEA, Antares, Barcelona, 2007.

Moreno, R, Historia Breve del Universo, Ed. Rialp, Madrid, 1998.

Recibido el 15 de diciembre de 2021

Aceptado el 14 de abril de 2022

Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia



NOTA CORTA

REGISTRO DE YAGUARUNDI (*Herpailurus yagouarondi*) EN EL BOSQUE COMUNAL EL COLMÓN DE MACARACAS, LOS SANTOS, PANAMÁ

Lourdes E. Arosemena P.¹ Edgar Saucedo² Félix Camarena³

¹Universidad Especializada de las Américas, Extensión de Azuero, Maestría en Gestión y Evaluación de Impacto Ambiental lourdesp2812@gmail.com 

²C.E.B.G. Chepo Las Minas, Maestría en Gestión y Evaluación de Impacto Ambiental saucevas06@gmail.com 

³Universidad de Panamá sede Azuero, Maestría en Gestión Ambiental felix.camarena@up.ac.pa 

RESUMEN

El yaguarundí (*Herpailurus yagouarondi*), pertenece a la familia Felidae, ocupa una gran variedad de hábitats con una amplia distribución geográfica desde Estados Unidos hasta el sur de Argentina. Se encuentra en la región boscosa del istmo de Panamá, con pocos registros en la región de la península de Azuero, suroeste de Panamá. El sitio de estudio comprendió siete puntos, dentro del área protegida Bosque Comunal el Colmón de Macaracas; ubicada en la provincia de Los Santos, distrito de Macaracas, Panamá; con una extensión de 1.36 km². Se usó 4 cámaras trampas, obteniendo datos cada 15 días durante un período de tres meses. De los siete sitios de observación, se obtuvo por primera vez evidencias de la presencia del *H. yagouarondi*; en cuatro de ellos, con un total de seis capturas visuales.

PALABRAS CLAVES

Áreas protegidas, cámaras trampas, distribución, etología, yaguarundi.

RECORD OF YAGUARUNDI (*Herpailurus yagouarondi*) IN THE BOSQUE COMUNAL EL COLMON DE MACARACAS, LOS SANTOS, PANAMA

ABSTRACT

The yaguarundí (*Herpailurus yagouarondi*), belongs to the family Felidae, occupies a great variety of habitats with a wide geographical distribution from the United States to the south of Argentina. It is found in the forested region of the Isthmus of Panama, with few records in the Azuero Peninsula region, southwestern Panama. The study site comprised seven points within the protected area Bosque Comunal el Colmón de Macaracas located in Province of Los Santos, Macaracas district, Panama, with an area of 1.36 km². 4 camera traps were used, obtaining data every 15 days over a period of three months. Of the seven-observation point, evidence of the presence of *H. yagouarondi* was obtained for the first time; in four of them, with a total of six visual captures.

KEY WORDS

Protected areas, camera traps, distribution, ethology, yaguarundi.

INTRODUCCIÓN

Méndez y la Gaceta Oficial de Panamá, señalan que *H. yagouarondi*, pertenece a la familia Felidae, conocido como tigrillo congo (1970, 2016).

Clavijo y Ramirez (1999) describen al género *Felis*, de la subfamilia Felinae, estaba dividido en cinco subgéneros: *Oncifelis*, *Leopardus*, *Oreailurus* *Herpailurus* y *Puma*. Actualmente se han replanteado estos cinco grupos en dos géneros: *Leopardus* y *Puma*.

Méndez caracteriza este felino con un tamaño similar al gato doméstico, poseen una piel sin patrones. El adulto mide aproximadamente 678 a 1700 mm y su extensión de cola 365 a 450 mm. Generalmente tiene dos a cuatro crías en un período de gestación de 75 días.

Entre los nombres más comunes conocidos tenemos león colorado, león breñero, achumicul (Guna) e imama-puru (chocó) y algunos nombres

extranjeros como: león venadero, puma, entre otros.

El *H. yagouaroundi* según mención de Clavijo y Ramírez (2009), presenta una amplia distribución geográfica desde el sur de Texas, Estados Unidos, de oriente a occidente en las tierras bajas en México, y hacia el sur a través de los valles interandinos en el Perú.

Con respecto a la distribución del *H. yagouaroundi* en los bosques panameños, se ha registrado en la región central boscosa del istmo (Springer et al.2015); Lynn, Durán y Arosemena lo identifican en la península de Azuero (2014, 2018), en el parque Municipal Summit, corregimiento de Ancón (Guevara y Aguilar, 2020). En los años 2020 y 2021, se encontró dos crías de yaguarundí en Bugaba, Chiriquí y en la ribera del río La Villa, provincia de Los Santos respectivamente (MiAmbiente, 2020, 2021).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) cataloga al *H. yagouaroundi* como “especie de preocupación menor” (LC), es decir, con categoría de riesgo más bajo que otras especies (2015).

En Panamá, según la Gaceta oficial, N°28187-A (2016) es catalogada como especie vulnerable, o sea, que no está en Peligro Crítico o En Peligro, pero enfrenta un alto riesgo de extinción en estado silvestre a mediano plazo.

El *H. yagouaroundi* es solitario, aunque con frecuencia se suele ver en parejas, de hábitos principalmente diurnos con picos de actividad por la mañana y tarde, de hábitos terrestres, pero puede trepar con agilidad a los árboles, especialmente cuando se ve amenazado. Ocupa una gran variedad de hábitats abiertos y cerrados como: selvas tropicales o subtropicales, selvas en galería, montes, sabanas, bosques pequeños, pajonales y arbustales, campos y malezales (Satalier,2017).

La dieta del yaguarundí incluye más de 24 especies de vertebrados y varía considerablemente de un sitio a otro, aprovecha casi todo mamífero pequeño, aunque prefiere aves, reptiles y peces varados en la orilla de ríos y lagunas (Saint y Hilaire ,1803). Aunque por lo general cazan presas de pequeño tamaño que no superan 1 kg de peso, se sabe

que pueden atacar presas relativamente grandes para él, como zarigüeyas y armadillos (Satalier, 2017). El *H. yagouarondi* es regulador de pequeños roedores perjudiciales para los cultivos agrícolas aledaños a las reservas forestales (Arosemena, 2018).

Nuestra investigación responde a la pregunta: ¿Habita el *Herpailurus yagouarondi*, en el Bosque Comunal el Colmón de Macaracas?; de ahí que nuestro objetivo es presentar el primer registro fotográfico de la existencia del *H. yagouarondi* en el área protegida, por medio de cámaras trampa.

MATERIALES Y METODOS

El sitio de estudio comprende el área protegida Bosque Comunal el Colmón de Macaracas ubicada en la provincia de Los Santos, distrito de Macaracas, Panamá, con extensión territorial de 1.36 km², coordenadas 7° 44' 40.5486" -80° 33' 35.6682". Su pluviosidad 1,815.8 mm, temperatura promedio 22°C a 34°C (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2015), Zona de vida Bosque Tropical Seco (Gaceta oficial, 2021).

Se monitoreó durante tres meses (19 de febrero a 19 de mayo 2021) con cuatro cámaras trampa marca Narrogat, activas las 24 horas del día, para la captura de fotografías y videos.



Figura 1. Bosque Comunal El Colmón (Investigadores a través de Google maps)

Las cámaras trampa fueron ubicadas cerca de charcas que aún permanecían en la temporada seca (meses de febrero, marzo e inicio de abril) en los canales por donde convergen las aguas durante la temporada lluviosa (final de abril y mayo), también cerca de sitios que presentan rastros de pequeños mamíferos.

Las cámaras trampa se rotaban de ubicación y eran revisadas periódicamente cada 15 días (período mínimo de duración de la carga de baterías y la capacidad de memoria microSD), para identificar los hallazgos en el registro fotográfico y de videos.

RESULTADOS

De los siete sitios de observación donde se colocaron cámaras trampa en el Bosque Comunal.

El Colmón de Macaracas (ver tabla 1, figura 1), se obtuvo evidencias de la presencia de *H. yagouaroundi* en cuatro de ellos, con un total de seis capturas visuales. De ellas, dos vistas fueron en el punto 1, dos vistas

fueron en el punto 2, una en el punto 4 y una en el punto 6.

De las vistas capturadas en los cuatro puntos de observación en que se logró obtener registro, tres capturas fueron a través de fotografía y tres a través de videos (ver tabla 1). En las dos capturas fotográficas obtenidas en el punto 1, se nota que el *H. yagouaroundi* estaba utilizando el área para su desplazamiento y se observó solitario como se aprecia en la figura 2.

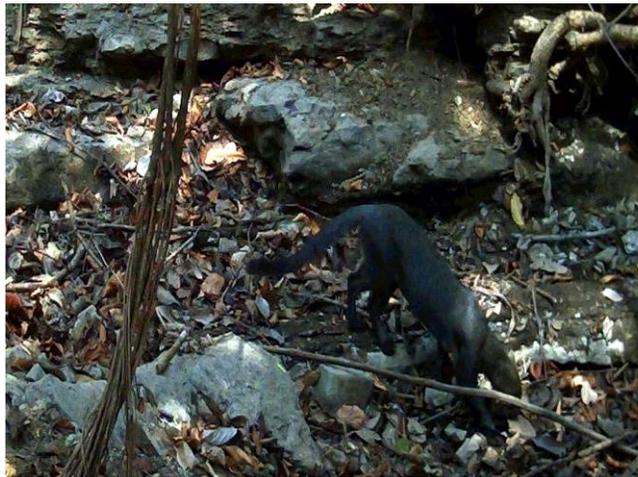


Figura 2. *H. yagouaroundi*

En el punto 2, donde se obtuvo registro a través de video, se nota al felino; solitario y de pie tomando un descanso debajo de la sombra de un árbol frondoso y próximo a la charca de agua.

Cuadro1: Registro de *H. yagouaroundi*, con el uso de cámaras trampa, de acuerdo con los puntos de observación en el Bosque Comunal el Colmón de Macaracas.

No.	Nombre de punto de observación	Coordenadas	¿Se registró observación?	Tipo de registro	Cantidad de veces registradas
1	Quebrada del vertedero/Puente de madera	7° 44' 40.5486" -80° 33' 35.6682"	Sí	Fotografía	2
2	Charca de quebrada del vertedero	7° 45' 6.8322" -80° 33' 13.1358"	Sí	Video	1
3	Charca del Puente metálico	7° 45' 9.3636" -80° 33' 18.8418"	No	-----	-----
4	Charca escondida de la quebrada del puente metálico	7° 45' 14.241" -80° 33' 16.1568"	Sí	Video	1
5	Piñolar	7° 45' 5.1228" -80° 33' 23.6988"	No	-----	-----
6	Área 1 Noroeste	7° 44' 46.3992" -80° 33' 41.5548"	Sí	Fotografía	1
				Video	1
7	Área 2 Noroeste	7° 44' 40.5486" -80° 33' 35.6682"	No	----	-----

En el caso del registro de video captado en el punto 4, igualmente se observa solitario, pero en esta ocasión se ve claramente tomando agua de la charca y movilizándose al ser perturbado por la presencia de un gallinazo que también tomaba agua de la misma charca.

Para el punto 6, se obtuvo registro tanto fotográfico como a través de video. En la fotografía se percibe al *H. yagouaroundi* en desplazamiento y esto, se comprueba con la evidencia a través del video, donde se observa claramente que el felino estaba desplazándose cuando pasó por

el punto donde estaba la cámara y con la diferencia de los registros anteriores, que en esta ocasión; no se le observó solitario, sino que le seguía un cachorro por lo que se trataba de una hembra con su cría.

Además, de captarse al *H. yagouaroundi*, se logró registrar la presencia en el sitio de otros mamíferos pequeños como el armadillo, ñeque, conejo pintado, mapache, zarigüeya; también aves como la cocaleca, rabiblanca, tortolita, pechiamarillos, gallinazos y reptiles como moracho de quebrada; organismos estos, pueden formar parte de las

presas de este felino; de acuerdo con Saint-Hilaire (1803) y Satalier (2017). Este último autor señala que el felino es esquivo y no es fácil observarlo, tal comportamiento lo demuestra Méndez-Carvajal et al., (2020), al no detectarlo en la Reserva Forestal El Montuoso en el año 2004, pero posteriormente sí lo observa en el 2020. Con nuestra investigación también se demuestra ese comportamiento esquivo, al obtener el primer registro fotográfico de esta especie en el Bosque Comunal El Colmón, año 2021, en sólo cuatro de los siete puntos de observación que se utilizaron.

Como proyección para preservar esta especie se deben crear fundaciones comunitarias enfocadas en conocer y proteger el *H. yagouaroundi*, además fomentar investigaciones sobre la etología del felino y su rol en la dinámica de nuestros bosques.

CONCLUSIONES

Las observaciones anteriores revelan que el *H. yagouaroundi*, es una especie exitosa en el Bosque Comunal El Colmón, por el registro de este felino en varias capturas de las cámaras trampa. El reporte de una hembra con su cría demuestra la variedad de fuentes alimenticias para esta especie presente en el bosque y que el efecto antropogénico no ha llegado a niveles que afecten su supervivencia.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de Mi Ambiente, en especial a los guardaparques del Bosque Comunal El Colmón y al personal del departamento de Áreas Protegidas de la región de Los Santos.

BIBLIOGRAFÍA

Arosemena, M. (2018). Diversidad Biológica y Estado de Conservación de los mamíferos de la Península de Azuero. 142-156.

Clavijo A. & Ramírez G. (2009). Taxonomía, Distribución y Estado de Conservación de los Felinos Sudamericanos. *Boletín Científico Centro de Museo Historia Natural* 13(2). https://www.bfa.fcnym.unlp.edu.ar/catalogo/doc_num.php?explnum_id=1745

Gaceta Oficial Digital, jueves 29 de diciembre de 2016. Resolución N° DM-0657-2016, https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28187_A/GacetaNo_28187a_20161229.pdf

Gaceta Oficial Digital, viernes 28 de mayo 2021, Resolución N° 29296-A, https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29296_A/GacetaNo_29296a_20210528.pdf.

Guevara N. y Aguilar J. (2020) Registro de mamíferos silvestres en el parque Municipal Summit, Corregimiento de Ancón, Panamá. *Revista Nicaragüense de Biodiversidad*. 66(2020) .<http://www.bionica.info/RevNicaBiodiv/66-Mamiferos-Panama.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2015). https://www.inec.gob.pa/publicaciones/Default3.aspx?ID_PUBLICACION=821&ID_CATEGORIA=2&ID_SUBCATEGORIA=4

Lyn, J. y Durán, G. (2014). First camera survey of wild felids in Cerro Hoya National Park, Panama. https://www.researchgate.net/publication/297712697_First_camera_survey_of_wild_felids_in_Cerro_Hoya_National_Park_Panama.

Méndez, E. (1970). Los Principales Mamíferos Silvestres de Panamá. Edición privada. (221222-223)

Méndez-Carvajal P., Gómez I, Gutierrez K., Moreno R. (2020). Potencial Regenerativo de bosques de galería en base a diversidad y abundancia de mamíferos en la Reserva Forestal Montuoso y afluentes del río La Villa, Herrera, Panamá.

<https://www.revistas.up.ac.pa/index.php/mesoamericana/article/view/1774>

MiAmbiente (2020). En Gariché, MiAmbiente Chiriquí, rescata cría de yaguarundí <https://www.miambiente.gob.pa/en-gariche-miambiente-chiriqui-recata-cria-de-yaguarundi/>

MiAmbiente (2021) A orillas del Río La Villa, MiAmbiente rescata cría de Yaguarundi <https://www.miambiente.gob.pa/a-orillas-del-rio-la-villa-miambiente-rescata><https://www.miambiente.gob.pa/a-orillas-del-rio-la-villa-miambiente-rescata-cria-de-yaguarundi-2/>[criadeyaguarundi-2/](https://www.miambiente.gob.pa/a-orillas-del-rio-la-villa-miambiente-rescata-cria-de-yaguarundi-2/)

Saint-Hilaire, É. G. (1803). Yaguarandi. [*Catalogue des Mammifères du Museum National d'histoire naturelle*](#) (en francés). <https://www.digitale-sammlungen.de/en/view/bsb10482289?page=1>

Satalier, D. (2017). Felinos de Argentina, Yaguarundí. <https://felinosdeargentina.com.ar/los-felinos/yaguarundi/>

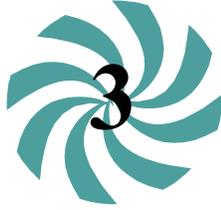
Springer, M., Carver, A., Nielsen, C., Correa, N., Ashmore, J., Ashmore J., Lee, J. (2015). Relative abundance of mammalian species in a central panamanian rainforest. *Latin american journal of conservation*. Vol. 2 (2) – 3 (1): 19-26 <file:///E:/MammalAbundancesPanama.pdf>

UICN (2015). Lista Roja de especies amenazadas. <https://www.iucnredlist.org/es/species/9948/50653167>

Recibido el 21 de julio de 2021

Aceptado el 10 de febrero de 2022

Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia



NOTA CORTA

PRIMER REPORTE DE *CAROLLIA SOWELLI* (FAMILIA: PHYLLOSTOMIDAE, SUBFAMILIA: CAROLLINAE) EN EL ESTE DE LA REPUBLICA DE PANAMÁ

Nelson Guevara. A^{1,2,3}, Melissa López¹ y María Morales^{1,4}

¹Grupo de Investigación, Biológico Biomundi, Panamá.

²Colegio de Biólogos de Panamá (COBIOPA), Panamá.

³Centro de Investigación y Capacitación en Conservación de la Biodiversidad, Sociedad Mastozoológica de Panamá (SOMASPA), Panamá.

⁴Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Biología, Orientación de Biología Animal, Panamá.

nelson2295@hotmail.com  melissa_dclg@hotmail.com 

mariiaisa14@gmail.com 

RESUMEN

Se presenta la ampliación de la distribución de la especie de murciélago *Carollia sowelli* (murciélago de cola corta de Sowell) en el Istmo de Panamá, basado en características y datos morfológicos de la especie.

PALABRAS CLAVES

Distribución, *Carollia*, Caracteres morfológicos, Valle Mamoní.

FIRST REPORT OF *CAROLLIA SOWELLI* (FAMILY: PHYLLOSTOMIDAE, SUBFAMILY: CAROLLINAE) IN THE EAST OF THE REPUBLIC OF PANAMA

ABSTRACT

The expanded distribution of the bat species *Carollia sowelli* (Sowell's short-tailed bat) in the Isthmus of Panama, based on characteristics and morphological data of the species.

KEY WORDS

Distribution, *Carollia*, Morphological characters, Mamoni Valley.

INTRODUCCIÓN

Los murciélagos frugívoros del género *Carollia*, son considerados uno de los más comunes en la región Neotropical, debido a que son especies generalistas con una gran capacidad de adaptación a diferentes tipos de hábitat (Ruelas y López, 2018; Lemos et al. 2020). Actualmente se reconocen ocho especies en la región Neotropical: *C. perspicillata* (Linnaeus, 1758), *C. brevicauda* (Schinz, 1821), *C. castanea* (Allen, 1890), *C. sowelli* (Baker et al. 2002), *C. subrufa* (Hahn, 1905), *C. manu* (Pacheco et al. 2004), *C. monohernandezii* (Muñoz et al. 2004) y *C. benkeithi* (Solari y Baker, 2006).

En Panamá, se tiene registro de las cuatro primeras especies arriba señaladas (Reid, 2009), siendo *C. sowelli* reconocida como especie por Robert J. Baker, Sergio Solari y Federico G. Hoffmann en el año 2002 y de la cual se tiene conocimiento que se distribuye desde San Luis Potosí y el norte de Veracruz en México hasta la península de Yucatán y el sur de México (Aaxaca y Chiapas) y a través de América Central hasta el oeste de Panamá según (Wilson y Mittermeier, 2019).

REGISTROS Y DISCUSIÓN

Durante el proyecto de investigación sobre la Biodiversidad de la Reserva Mamoni Valley Preserve, ubicada en el Poblado de Madroño, Corregimientos de Las Margaritas, Distrito de Chepo, Provincia de Panamá; mediante el uso de seis redes de niebla (12x2.5 m) reportamos mediante características y datos morfológicos, el registro de seis individuos adultos y un juvenil de *Carollia sowelli* (Cuadro 1). Los individuos fueron capturados el 28 de abril, 21 de septiembre y el 19 de noviembre; del 2021. En dos sitios distintos de la reserva conocidos como Centro Agroforestal (coordenadas GPS 9°17'46.4" N, 79° 7'40.6" W - elevación 201.78 msnm datum configuration WGS84) y Zona de reforestación, comunidad de San José (coordenadas GPS 9°18'13.3"N, 79°07'40.3" W - elevación 189.28 msnm datum configuration WGS84) (Figura1).

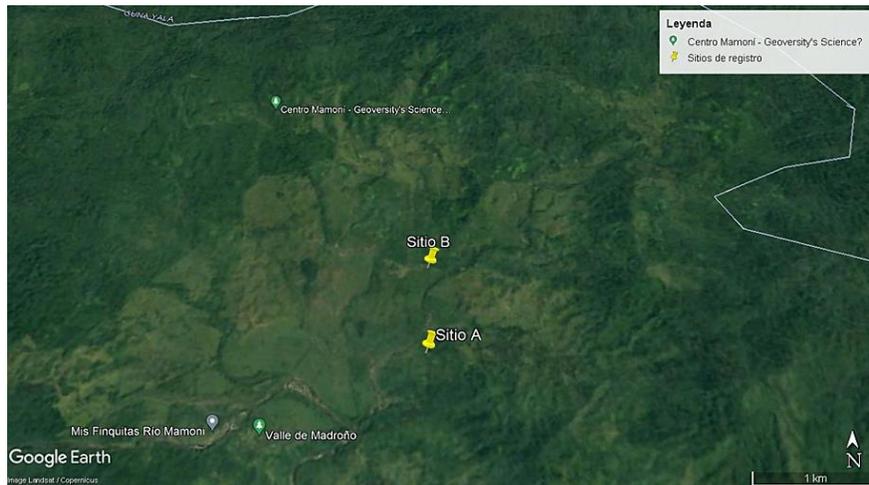


Figura 1. Sitios de captura y reporte de *C. sowelli* en la Reserva Mamoní Valley Preserve. Sitio A: Centro Agroforestal, Sitio B: Zona de reforestación, Comunidad de San José.

Los individuos de *C. sowelli* (Figura 2.) capturados, fueron separados de las demás especies del género *Carollia*, siguiendo los parámetros morfológicos y taxonómicos de Timm *et al.* (1999); Baker *et al.* (2002); Reid (2009); Medellín (2017); Mejía-Quintanilla *et al.* (2021); York *et al.* (2019); Wilson y Mittermeier (2019); Romero *et al.* (2021a); Romero *et al.* (2021b) (Cuadro 2).



Figura 2. Individuos de *Carollia sowelli* capturados y registrados en la reserva Mamoní Valley Preserve.

Cuadro 1. Principales datos obtenidos de los individuos de *C. sowellii* reportados en la reserva.

Individuo	Fecha	Sitios	Antebrazo (mm)	Tibia (mm)	Peso (g)	Sexo	Edad	Comentario
1	28/04/2021	A	39	16	13.5	H	A	
2	21/09/2021	B	41	17	18	M	A	
3	21/09/2021	B	42	17	20	H	A	
4	21/09/2021	B	46	18	19	M	A	Escrotado
5	21/09/2021	B	43	18	22	H	A	
6	21/09/2021	B	42	17	33	H	A	Embarazada
7	19/11/2021	A	35	14	16	M	J	

Sitios: A: Centro Agroforestal; B: Zona de reforestación, Comunidad de San José; Sexo: H=Hembras, M=Machos; Edad: A=adulto, J=juvenil.

Cuadro 2. Diferencias morfológicas y taxonómicas entre *C. sowellii* y el resto de las especies del género *Carollia*. Medidas promedio para cada especie registrada en la reserva.

Especie	Ant (mm)	Ti (mm)	Pe (g)	Características
<i>C. sowellii</i>	41	19	20.21	Pelaje suave y largo (7-8 mm) de color marrón-grisáceo; tricoloreado de 4 bandas: banda basal oscura, banda intermedia grisácea, banda central blanquecina, puntas grises; antebrazo y pies cubiertos de pelo aterciopelado; pequeña mancha o banda blanquecina sobre la cabeza.; incisivos inferiores del mismo tamaño, espacio entre los primeros premolares. En proporción es un poco más grande que <i>C. brevicauda</i> pero un poco más pequeño que <i>C. perspicillata</i> .
<i>C. brevicauda</i>	40	18	19.22	Pelaje denso y esponjoso (5 mm) de color negro, gris oscuro a pardo grisáceo opaco; tricoloreado de 3 bandas: banda basal oscura, banda central grisácea, puntas marrones oscuro; antebrazo y pies peludos; mancha o banda sobre la cabeza oscura en la línea basal; primer molar inferior (m1) con cúspide principal alta. Esta especie es un poco más pequeña que <i>C. sowellii</i> .
<i>C. perspicillata</i>	42	20	19.23	Pelaje corto (5-6 mm) de coloración negro a gris/marrón oscuro; tricoloreado de 3 bandas: banda basal oscura, banda central blanquecina y puntas oscuras; antebrazos y pies no peludos; incisivos inferiores internos más grandes que los externos. Es la especie más grande del género.
<i>C. castanea</i>	38	15	14.88	Pelaje corto (6 mm) de color castaño oscuro. Es la única especie del género con esta coloración.

Ant= antebrazo; Ti=tibia; Pe=peso.

Al igual que otras especies del género *Carollia*, *C. sowelli* suele ser abundante en bosques secundarios donde plantas de géneros como *Piper*, *Cecropia* y de Familias como Solanaceae suelen ser abundante con una gran producción de frutos de los cuales se alimentan (Reid, 2009; Oporto *et al.* 2015). Panamá, al poseer una gran cobertura boscosa de tipo secundario a través del istmo (MiAmbiente, 2020). Posiblemente ha contribuido que desde el año 2002, *C. sowelli* se haya podido desplazar fácilmente desde provincias centrales hasta la zona este del país, donde en estos tipos de bosques han encontrado abundante alimento para colonizar nuevas áreas como el Valle Mamóni donde se presentan estos reportes.

Queremos señalar que, en cuanto estudios moleculares, la única diferencia entre *C. sowelli* y *C. brevicauda* se basa en el orden de los nucleótidos en el citocromo-b mitocondrial (Pacheco *et al.* 2004; Muñoz *et al.* 2004).

AGRADECIMIENTOS

A Jessica y Bryan Ausinheiler por el apoyo en el Centro Agroforestal durante las horas de estudio. A los voluntarios y trabajadores de la Reserva Mamóni Valley Preserva y Fundación Geoversity por el apoyo logístico del transporte hacia los diferentes puntos. A la profesora y habitantes de la Comunidad de San José por brindarnos un espacio para la identificación y análisis de los diferentes caracteres durante el estudio.

REFERENCIAS

Allen, H. (1890). Description of a new species of bat of the genus *Carollia* and remarks on *Carollia brevicauda*. Proceeding of the United States Natural Museum. 13(824):291-298.

<https://doi.org/10.5479/si.00963801.13-824.291>

Baker, R.J., Solari, S. y Hoffmann, F. (2002). A new Central American species from the *Carollia brevicauda* complex. Occasional Papers. Museum Texas Tech University 217: 1-12.

<https://www.depts.ttu.edu/nsrl/publications/downloads/OP217.pdf>

Díaz, M.M., Solari, R.G., Aguire, L.F. y Barquez, R.M. (2021). Clave de identificación de los murciélagos neotropicales. Publicación especial #4-PCMA (Programa de conservación de los murciélagos de Argentina). Tucumán, Argentina. 211 pp.

Hahn, W.L. (1905). A new bat from Mexico. *Proc Biol Soc Washington* 18:247-248.

Mejía-Quintanilla, D.J., Cruz-Granado, A.M., Funes, C., Cabrera-Aguilar, F. R., Lara, K., Alvarado-Ortíz, W.J., Arias, H. y Portillo, J. (2021). Evaluación preliminar de la diversidad de murciélagos de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras. *Revista Mexicana De Mastozoología (Nueva Época)*, 11(1):49–57. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2021.11.1.331>

Medellín, R.A. (2017). Murciélagos de México: *C. perspicillata* y *C. sowellii* - La huella del jaguar. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://blogs.ciencia.unam.mx/lahuella/2017/06/08/murcielagos-de-mexico-carollia-perspicillata-y-c-sowellii>

MiAmbiente (Ministerio de Ambiente). (2020). Diagnóstico sobre la cobertura de bosques y otras tierras boscosas de Panamá, 2019. Gaceta Oficial, viernes 09 de octubre de 2020, No. 29131-A. 31 pp. https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/29131_A/81297.pdf

Muñoz, J., Cuartas, C.A. y González, M. (2004). Se describe una nueva especie de murciélago del género *Carollia* Gray, 1838 (Chiroptera: Phyllostomidae) de Colombia. *Actualidades Biológicas*, 26(80):80-90. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/actbio/article/view/329461>

Lemos, T.H., Tavares, V.d.C. y Moras, L.M. (2020). Character variation and taxonomy of short-tailed fruit bats from *Carollia* in Brazil. *Zoologia (Curitiba)*, (37):1-7. <https://doi.org/10.3897/zoologia.37.e34587>

Linnaeus, C. (1758). *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis,*

synonymis, locis. Tomus I. Editio décima, reformata. Laurentii Salvii, Holmiæ, 824 p. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/10277#page/2/mode/1up>

Oporto, S., Arriaga-Weiss, S.L. y Castro-Luna, A.A. (2015). Diversidad y composición de murciélagos frugívoros en bosques secundarios de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(2015):431–439. <https://www.redalyc.org/pdf/425/42539890008.pdf>

Pacheco, V., Solari S. y Velazco, P.M. (2004). Una nueva especie de *Carollia* (Chiroptera: Phyllostomidae) de los Andes de Perú y Bolivia. *Papeles ocasionales. Museo de la Universidad Tecnológica de Texas*, 236:1-15.

Reid, F.A. (2009). *A field guide of the mammals of Central American & southeast Mexico*. Oxford University Press. New York.

Romero, V., Vallejo, A. F. y Boada, C. (14 de diciembre 2021a). *Carollia brevicaudum* Mamíferos del Ecuador. Version 2018.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 2022.<https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/FichaEspecie/Carollia%20brevicaudum>

Romero, V., Vallejo, A. F. y Boada, C. (21 de diciembre 2021b). *Carollia perspicillata*. Mamíferos del Ecuador. Version 2018.0. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado el 9 de enero 2022. <https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/FichaEspecie/Carollia%20perspicillata>

Ruelas, D. y López, E. (2018). Análisis morfogeométrico de las especies peruanas de *Carollia* (Chiroptera: Phyllostomidae). *Mastozoología Neotropical*, 25 (2) 419-438. <https://www.redalyc.org/journal/457/45760865014/html/>

Schinz, H. R. (1821). *Das Thierreich eingetheilt nach dem Bau der Thiere als Grundlage ihrer Naturgeschichte und der vergleichenden Anatomie von dem Herrn Ritter von Cuvier. Erster band. Säugethiere und Vögel*. Stuttgart und Tübingen: J. G. Cotta'schen Buchhandlung.

Solari, S. y Baker, R. (2006). Mitochondrial DNA Sequence, Karyotypic, and Morphologic Variation in the *Carollia castanea* Species Complex (Chiroptera:Phyllostomidae) with Description of a New Species. Occasional Papers (254). Texas Tech University. Natural Science Research Laboratory. <https://www.depts.ttu.edu/nsrl/publications/downloads/op254.pdf>

Timm, R.M., R.K. Laval & B. Rodríguez. (1999). Clave de campo para los murciélagos de Costa Rica. San José: Departamento de historia natural, Museo Nacional de Costa Rica, 32 p. <https://kuscholarworks.ku.edu/handle/1808/4521>

York, H.A., Rodríguez-Herrera, B., LaVal, R. & Timm, R. (2019). Field keys to the bats of Costa Rica and Nicaragua. *Journal of Mammalogy*, 100(6): 1726-1749. 24 p. <https://kuscholarworks.ku.edu/bitstream/handle/1808/29872/York%20et%20al%20-%202019%2020JMamm%20-%20Bat%20Key.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Wilson, D.E. y Mittermeier, R.A. eds. (2019). *Handbook of the Mammals of the world. Vol. 9. bats.* Lynx Edicions, Barcelona.

Recibido el 9 de febrero de 2022

Aceptado el 26 de mayo de 2022

Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia



TOMOGRAFÍA SÍSMICA DE REFRACCIÓN APLICADA A HIDROGEOLOGÍA EN EL RINCÓN DE SANTA MARÍA

Edward Humberto^{1,3,6}, Tapia Arkin³, Cedeño Juan^{1,3}, Rodríguez Anthony^{3,6}, Luque Néstor^{2,3}, Ballester Idania⁴, Batista Rodríguez José Alberto⁵, Almaguer Carmenates Yuri⁵; Cedeño Ivan⁷ y Caballero Alberto^{1,3}

¹Universidad de Panamá, Laboratorio de Hidrología Isotópica y Geofísica Aplicada, Panamá. humberto.edwardh@up.ac.pa  juan.cedeño@up.ac.pa  alcaba99@yahoo.com 

²Universidad de Panamá, Instituto de Geociencias, Panamá. aalaint@hotmail.com  nestor.luque@up.ac.pa 

³Universidad de Panamá, Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Naturales, Exactas y Tecnología, Panamá. rodriguez@up.ac.pa 

⁴Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Azuero, Panamá. idania.ballesteros@up.ac.pa 

⁵Universidad Autónoma de Coahuila, Escuela Superior de Ingeniería, México. josebatista@uadec.edu.mx  y almaguer@uadec.edu.mx 

⁶Docente del Ministerio de Educación de Panamá.

⁷Anteriormente Instituto de Acueducto y Alcantarillados Nacionales, Panamá. juan.cedenoc@up.ac.pa 

RESUMEN

La comunidad de El Rincón, en la provincia de Herrera, utiliza las aguas subterráneas como principal fuente de suministro de agua potable y para sus actividades agroindustriales. No obstante, la gestión integral del recurso conlleva al empleo de técnicas geofísicas, como la tomografía sísmica de refracción. Técnica implementada en esta investigación, con el objetivo de determinar la distribución de los estratos geológicos presentes en la zona y caracterizar el acuífero en explotación. Para esto se realizaron perfiles sísmicos, utilizados para elaborar un modelo de velocidades entre los 350 m/s y 4500 m/s, que al correlacionarse con la descripción litológica de los sondeos mecánicos del área (pozos), permite inferir la litología, destacando dos acuíferos, el primero, es el más somero, de tipo granular (areniscas), mientras que el segundo, es de tipo fisurado (aglomerado tobáceo fracturado). Ambos presentan diferentes profundidades y espesores. El acuífero somero, se encuentra sobreyacido por arcillas, indicando un acuífero con pocas probabilidades de contaminación.

PALABRAS CLAVES

Tomografía sísmica de refracción, acuífero, geología, estratigrafía, aguas subterráneas, pozos, métodos geofísicos.

SEISMIC REFRACTION TOMOGRAPHY APPLIED TO HYDROGEOLOGY AT EL RINCÓN DE SANTA MARÍA, PANAMA

ABSTRACT

The community of El Rincón, in the province of Herrera, uses groundwater as the main source of drinking water supply and for its agro-industrial activities. However, the integral management of the resource leads to the use of geophysical techniques, such as seismic refractive tomography. Technique implemented in this research, with the objective of determining the distribution of the geological strata present in the area and characterize the aquifer in exploitation. For this purpose, seismic profiles were made, used to develop a model of velocities between 350 m/s and 4500 m/s, which, when correlated with the lithological description of the mechanical boreholes of the area (wells), allows inferring the lithology, highlighting two aquifers, the first, is the shallower, granular type (sandstone), while the second, is fissured type (fractured tobaceous agglomerate). Both have different depths and thicknesses. The shallow aquifer is overlain by clays, indicating an aquifer with little chance of contamination.

KEY WORDS

Seismic refraction tomography, aquiferous, geology, stratigraphy, underground waters, wells, geophysical methods.

INTRODUCCIÓN

En la región del Arco Seco de la República de Panamá, el desarrollo de las actividades agroindustriales y el consumo de agua potable depende de la extracción de agua subterránea (pozos). En esta región, se localiza el Corregimiento de El Rincón (figura 1), comunidad que supera los 1 700 habitantes y pertenece a la Provincia de Herrera (INEC, 2010).

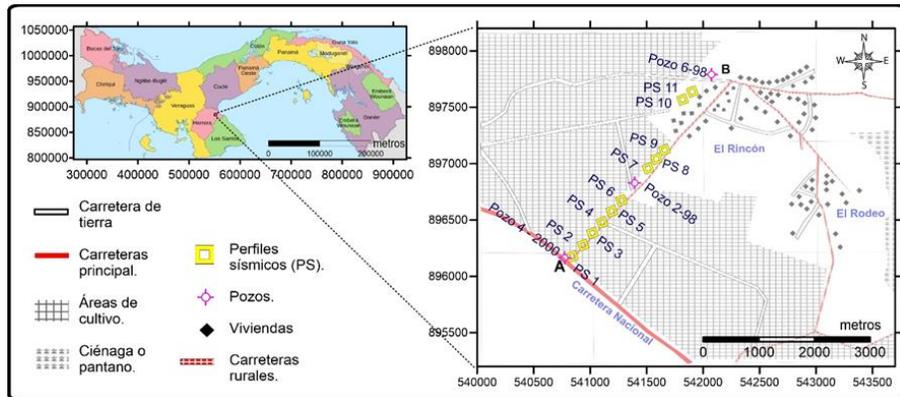


Figura 1. Ubicación del área de estudios, de perfiles sísmicos realizados y pozos existentes en el área. A y B son los extremos del perfil estratigráfico a desarrollar.

La gestión integral, explotación y sostenibilidad del recurso hídrico, permite un desarrollo socioeconómico sostenible y mejora la calidad de vida de la comunidad. Para ello, se requiere monitorear el recurso, mediante estudios hidro geofísicos previos y posteriores a las perforaciones.

Este estudio tiene el objetivo de determinar la distribución de los estratos geológicos presentes en la zona, caracterizar el acuífero en explotación y su posible vulnerabilidad (a los contaminantes, producidos por las actividades agrícolas).

Los estudios geofísicos de prospección son metodologías no invasivas, entre las que se incluye la tomografía sísmica de refracción. Técnica que correlaciona la velocidad de propagación de las ondas sísmicas $[v(x, y, z)]$ con las propiedades físicas del subsuelo. Permitiendo establecer las características del material geológico, su comportamiento y su potencial hidrogeológico (Reynolds, 2011).

CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y GEOLÓGICAS DEL ÁREA

Las características peculiares del surgimiento y formación del istmo de Panamá derivaron en una compleja distribución geológica y geomorfológica. Resaltando el contraste existente entre la Cordillera

Central o cadenas montañosas y las zonas de acumulación de sedimentos o llanuras (IGNTG, 2016).

La comunidad de El Rincón, desde el punto de vista topográfico (altitud y pendiente), estructural (litología y tectónica) y su historia geológica se ubica en la Región Baja y Planicie Litoral (figura 2.a). Siendo un área de acumulación de sedimentos recientes, ya litificados, donde predominan las llanuras, aunque pueden encontrarse colinas aisladas, diques y depósitos de rocas ígneas, las cuales han sido elevadas por el tectonismo (MiAmbiente, 2010).

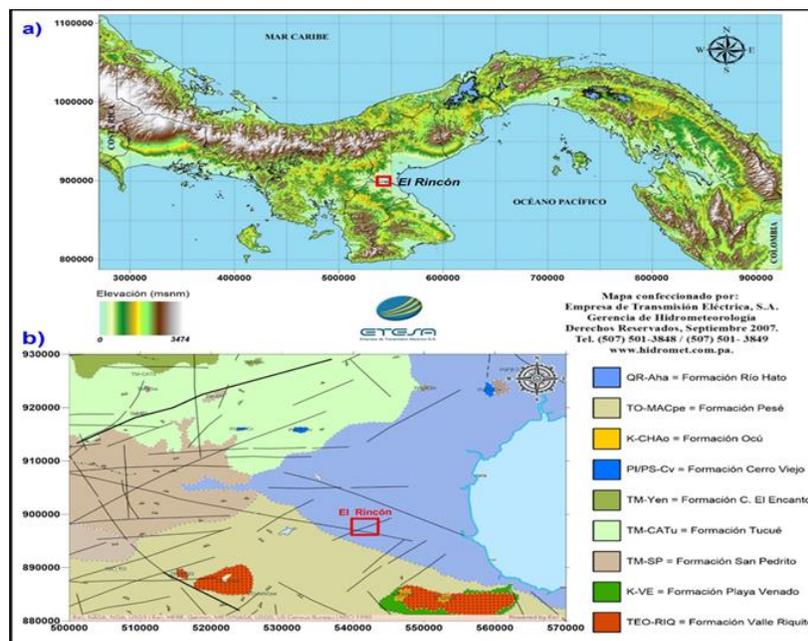


Figura 2. Características físicas del área de estudio. a) Mapa físico, b) mapa geológico (Adaptados de ETESA 2007; MiAmbiente 2010; MICI 1991).

Desde la perspectiva geológica, El Rincón está ubicado sobre la Formación Río Hato (figura 2.b), del Grupo Aguadulce del Holoceno, donde se identifican estratos de arenas, lutitas, tobas, conglomerados, pómez y areniscas poco consolidadas, los cuales forman acuíferos permeables (donde están saturados) y permite obtener buenos caudales con pozos pocos profundos (ETESA, 1999).

Basados en el mapa geológico de la República de Panamá, en el área se observa un sistema de fallas o elementos morfoestructurales mayores,

con rumbo preferencial NW-SE. De igual manera, se observa un sistema secundario con dirección SW-NE, de manera casi perpendicular a la primera. Se debe señalar que estas condicionan la dirección de los ríos Escotá y Santa María (MICI, 1991).

En resumen, es importante señalar que la ocurrencia de agua subterránea está determinada por las condiciones geológicas de la zona, tales como la naturaleza y características de la roca. Las rocas presentes en esta área describen un acuífero volcano-sedimentario y han sido afectadas por una intensa fracturación, consecuencia de los sucesivos eventos que se han desarrollado; asociados a la actividad tectónica, la cual es manifestada por las fracturas y fallas (locales y regionales).

METODOLOGÍA Y ADQUISICIÓN DE DATOS

La técnica sísmica de refracción consiste en provocar un sismo artificial (fuente sísmica), en el que la mayor parte de la energía de las ondas sísmicas se transforma en ondas longitudinales, ondas P (Telford, et al., 1990). Estas ondas se refractan en la interface sísmica, que pueden coincidir con interfaces de los estratos. Esta refracción provoca que dichas ondas regresen a la superficie y sean captadas por sensores (geófonos), alineados linealmente de manera equidistante. Los geófonos miden el tiempo de arribo de las ondas p (figura 3.a), lo que permite generar gráficos del tiempo (arribo) vs distancia (sensor-fuente); estos gráficos son denominados dromocronas (figura 3.b).

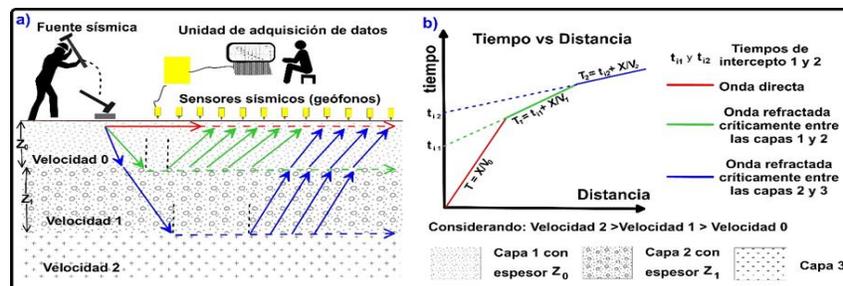


Figura 3. Fundamento de sísmica de refracción para el caso de tres capas horizontales. a) Trayectoria en el subsuelo de las ondas sísmica, b) Dromocrona correspondiente (adaptado de Kearey, et al, 2009; Zeta, et al, 2016).

Para el estudio de las dromocronas, en el caso general de un número n de capas horizontales ($n \in \mathbb{Z}$), el tiempo total de viaje de una onda (T_n)

se expresa como (Mussett & Khan, 2000; Kearey et al., 2009; Everett 2013):

$$T_n = \frac{x}{v_n} + \sum_{i=0}^{n-1} \frac{2Z_i \sqrt{v_n^2 - v_i^2}}{v_i v_n} \quad [1]$$

Donde Z_i es el espesor de cada capa recorrida, el término $\sum_{i=0}^{n-1} \frac{2Z_i \sqrt{v_n^2 - v_i^2}}{v_i v_n}$ es denominado tiempo de intercepción y $\frac{x}{v_n}$ es el tiempo sobre la superficie de separación, considerando un gradiente de velocidad en profundidad.

A partir de la expresión [1] y las dromocronas, se calcula el espesor de las capas o interfaces de refracción [profundidad (z)], mientras que, analizando las pendientes, se obtienen sus velocidades [$v(x, y)$], valores utilizados para desarrollar modelos bidimensionales de la discontinuidad de la velocidad del subsuelo en profundidad (que pueden coincidir con la variación estratigráfica).

Actualmente, la alternativa para secciones geológicas complejas es la tomografía de refracción sísmica (Sheehan et al., 2005). Debido a que la técnica utiliza algoritmos iterativos para solucionar el problema de la no linealidad entre los tiempos de viajes sísmicos y la heterogeneidad del subsuelo (Reynolds, 2011).

Algoritmos como el “recocido simulado generalizado” (Bohachevsky et al., 1986), basado en el método de Monte Carlo (Metropolis et al., 1953), es utilizado por softwares como SeisOpt®@2D™ (Optim Inc.) para calcular un modelo inicial de velocidades sísmicas, simular los rayos propagados, calcular los tiempos de recorrido y determinar los parámetros (m), de la función objetivo ($\varphi[m]$), para cualquier iteración i , de la forma siguiente:

$$j[m]_i = \frac{\sum_{j=1}^n (t_j^{med} - t_j^{cal})^2}{n} \quad [2]$$

Donde n es el número total de mediciones, j es el contador de cada medición, t^{cal} los tiempos calculados y t^{med} los tiempos medidos (Pullammanappallil & Louie, 1994). De esta manera, mientras $\varphi[m]$ no alcanza un valor de convergencia, ni sobrepase determinadas iteraciones o su valor no sea el mínimo global, el algoritmo modificará el modelo inicial, agregando aleatoriamente velocidades constantes (dentro del rango preestablecido) en diferentes celdas vecinas y repitiendo iterativamente el procedimiento, hasta obtener el modelo óptimo (Pullammanappallil & Louie, 1994; Kirsch, 2006).

Previo a la adquisición de datos y las giras de campo, se realizó la revisión sistemática del material bibliográfico concerniente a los estudios geofísicos, hidrogeológicos y ambientales de la región y la información de los sondeos mecánicos realizados en la zona (IDAAN, 2012), la litología de estos es presentada en la figura 4.

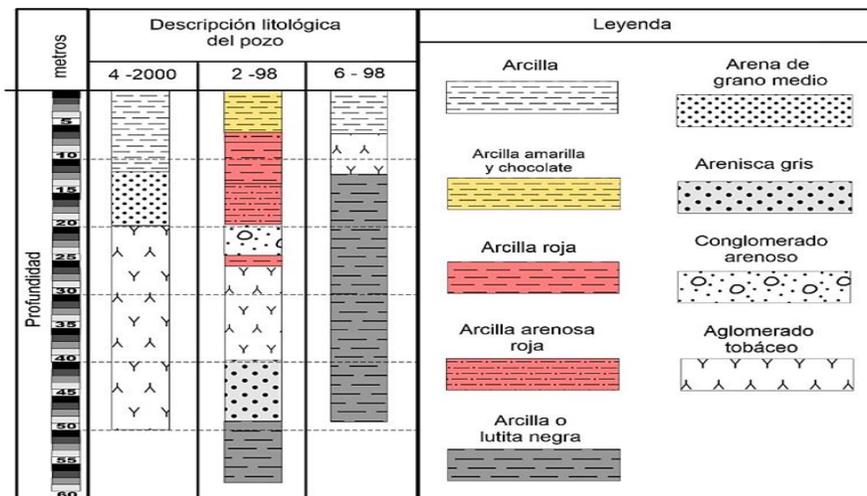


Figura 4. Sondeos mecánicos en las proximidades de El Rincón (adaptado de IDAAN 2012).

Basado en esta información, se determinó la ubicación de los perfiles (figura 1) y el número de perfiles sísmicos (11), todos numerados con la denominación PS; de igual manera la separación entre los sensores (10 m) y el número de impactos (3). La posición de los perfiles se realizó con el objetivo de comparar los resultados sísmicos con los sondeos mecánicos existentes (figura 4) y verificar la continuidad de los estratos geológicos.

La adquisición de datos se realizó utilizando el sismógrafo DAQ LINK III[®], el cable sísmico de 110 m de extensión máxima, un mazo de 6,0 kg, con un “trigger” adherido, una placa de metal de 0,04 m², 12 geófonos de 10 Hz y la unidad de adquisición de datos (ordenador).

En cada perfil los impactos se distribuyeron 5 m anterior al primer geófono, 5 m posterior al último y en el punto medio del perfil (entre los geófonos 6 y 7), simultáneamente a cada impacto el “trigger” activa la captura de datos en tiempo real con el programa VibraScope[®], lo que permite asegurar la calidad de los datos, tal como se muestra en la Figura 5.

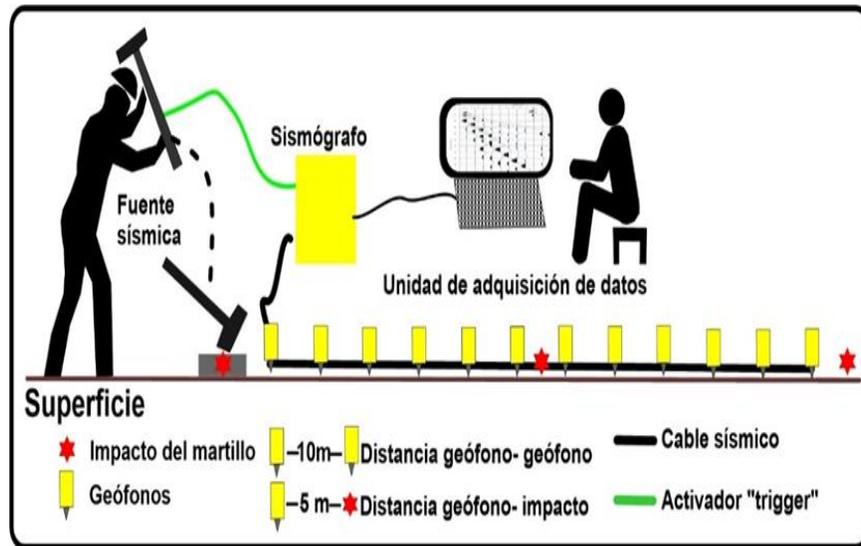


Figura 5. Equipos y metodología implementada para cada perfil.

Para la elaboración de los modelos sísmicos resultantes se utilizaron los softwares de acuerdo con el orden y función siguiente:

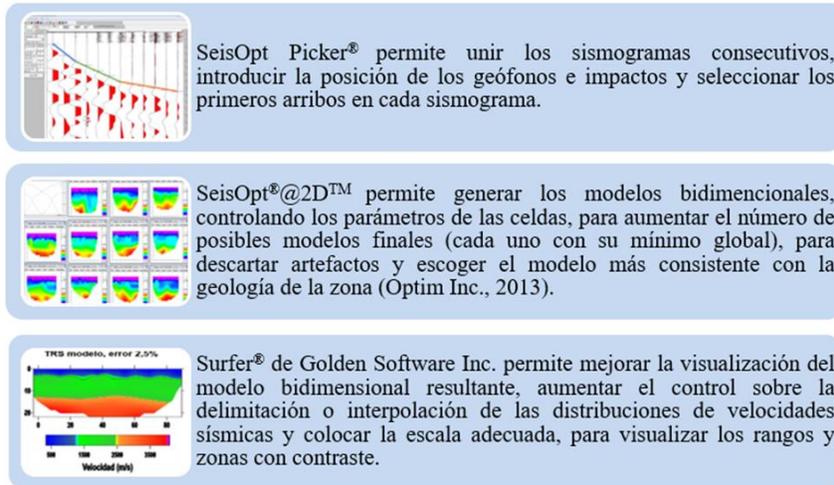


Figura 6. Softwares utilizados para elaborar los modelos sísmicos de refracción.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los perfiles sísmicos se procesaron de manera individual y luego conjunta (en base a su ubicación), lo que permite verificar la continuidad de los estratos y unificar el rango de valores de velocidad.

El modelo bidimensional resultante de las tomografías de refracción sísmicas (figura 7), permiten inferir tres (3) estratos que se distribuyen a lo largo de todo el perfil y un cuarto estrato que se encuentra por debajo de la profundidad de exploración.

Panamá. Utilizando los softwares de acuerdo con el orden y función siguiente: en SeisOpt Picker® se seleccionaron los primeros arribos o primeras llegadas en cada sismograma, exportando la posición de los geófonos e impactos y los pickers realizados. En SeisOpt@2D® se utilizó métodos como Optimización Global y el Recocido Simulado (Simulated-annealing (SA)) para crear modelos bidimensionales de la distribución de la velocidad en el subsuelo y en GSview 5.0® se exportaron los resultados en formato JPG.

En la quinta sección se correlacionaron los modelos de velocidad con los datos de los sondeos mecánicos adyacentes (ejemplo el modelo SMI con el pozo 4-200) y se desarrollaron los perfiles estratigráficos basados en su ubicación.

Para inferir la distribución de los estratos geológicos en la zona, se elaboró un perfil estratigráfico entre los puntos extremos A y B (figura 7), desde la Av. Dr. Belisario Porras hasta las proximidades de la iglesia del pueblo, basado en el modelo de velocidad (figura 7) y la descripción de los tres sondeos mecánicos (figura 4), obteniendo el perfil geológico mostrado en la figura 8:

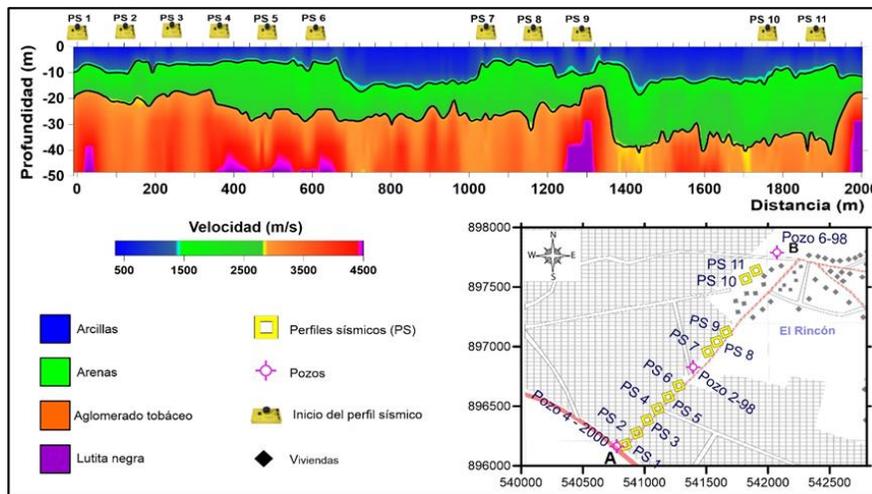


Figura 7. Perfil sísmico y modelo de velocidades

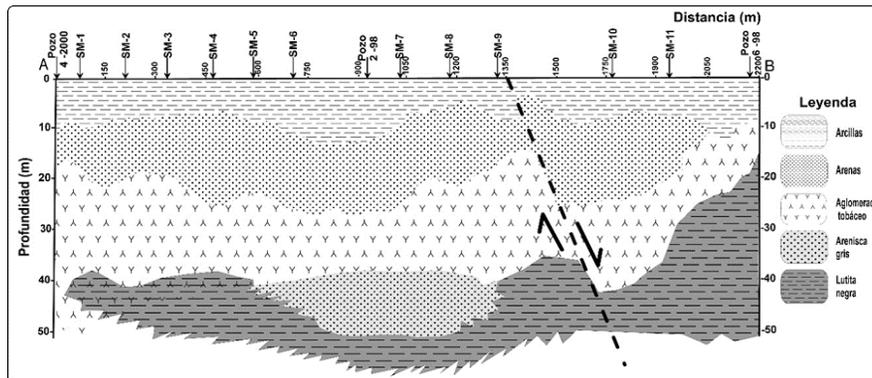


Figura 8. Perfil geológico entre los puntos A y B.

El perfil AB (figura 8) tiene una profundidad de exploración de 50 m y 2 200 m de largo, en él se identifican cinco (5) estratos. Los estratos de arcillas, arenas y el aglomerado tobáceo se distribuyen a lo largo de casi todo el perfil. Mientras que se identifican a mayor profundidad lentejones (descritos en las perforaciones) de arenisca gris, arcilla y lutita negra con espesores variables.

Se puede indicar que: las arcillas que se encuentran en la parte superior (acuitardos) sirven como un sistema protector del sistema acuífero principal (arenas). Impidiendo la infiltración del agua de las quebradas presentes en la zona y los surcos del sistema de riego; así como la contaminación por fertilizantes y otros productos químicos utilizados por los agricultores.

El aglomerado tobáceo muestra una distribución irregular en diferentes sectores, esto puede deberse a la erosión producto de antiguos canales abandonados del Río Santa María (paleocanales). Esta distribución irregular es un fuerte indicador de que el aglomerado de esta zona puede encontrarse fracturado, aumentando la posibilidad de ocurrencia de agua subterránea (acuífero fisurado).

De igual forma la distribución de estos estratos (la ubicación de las arenas), permite clasificar el acuífero como confinado y la falla con desplazamiento normal, descrita preliminarmente, se debe al cambio abrupto de los estratos y su profundidad entre los perfiles PS 9 y PS 10.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los perfiles sísmicos realizados permitieron inferir la distribución de las diferentes litologías presentes en el subsuelo y la posible ocurrencia de aguas subterráneas. Debido a la correlación entre los valores de los modelos de velocidad y la litología de las perforaciones, se elaboró un modelo de la distribución estratigráfica de la zona. Estos aspectos identifican las siguientes características:

1. En la zona se tiene un espesor considerable de arcillas en la parte superior del acuífero (10 m – 15 m). Esto implica que, el acuífero no debería ser vulnerable a la contaminación, pero no descarta la necesidad de proteger las zonas de recarga.
2. La capa acuífera (areniscas) varía de profundidad y espesor. La misma no es homogénea, lo que podría ser indicativo de que se originó en

diferentes eventos y en algunos sectores podría contener un alto porcentaje de arcilla (evidenciado en la litología de las perforaciones).

3. La distribución irregular del aglomerado tobáceo es un fuerte indicador de que este puede estar fracturado y podría ser parte del sistema acuífero (acuífero fisurado).

De igual forma debemos señalar que es indispensable reforestar las regiones altas o cercanas al cerro Paso del Rey (posible área de recarga del acuífero) y mantener estudios periódicos para determinar los niveles de salubridad, salinidad y contaminación del acuífero.

Igualmente es oportuno recomendar la planificación y explotación racional de los pozos en la zona, ya que se puede estar explotando el mismo estrato, provocando la sobreexplotación de este. Así como, llevar un control eficaz del uso y cumplimiento de las normas vigentes para la explotación de un determinado pozo.

Finalmente se destaca que la metodología utilizada en esta investigación permitió cumplir con los objetivos propuestos, por lo cual puede utilizarse como referente para otras áreas con características similares. Así como la necesidad, de desarrollar nuevas investigaciones multidisciplinarias, para aumentar el conocimiento cualitativo y cuantitativo de los recursos hídricos subterráneos de la región.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la SENACYT el apoyo de esta Investigación con el Proyecto ITE10-005. A la VIP de la Universidad de Panamá por el apoyo brindado.

Al Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales por el apoyo brindado y el suministro de datos.

De igual manera al Dr. Eduardo Camacho y todo el personal que apoyo en el proceso de adquisición de datos.

Al área de geofísica aplicada, en el Instituto Andaluz de Geofísica, de la Universidad de Granada, España y la Escuela Superior de Ingeniería "Lic. Adolfo López Mateos, de la Universidad Autónoma de Coahuila, México; por la capacitación del personal para el procesado, análisis e interpretación de los datos.

Se agradece la revisión y recomendaciones del revisor.

REFERENCIAS

Bohachevsky, I., Mark, J., & Myron, S. (1986). Generalized simulated annealing for function optimization. *Technometrics*, 209-217.

ETESA. (1999). *Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.* Retrieved Marzo 25, 2020, from Mapa Hidrológico de Panamá escala 1:1000000: http://hidromet.com.pa/documentos/Nota_Explicativa_Hidrogeologico.pdf

ETESA. (2007). *Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.* Retrieved Marzo 27, 2020, from ETESA: Mapas Hidrometeorológicos: <https://www.hidromet.com.pa/mapas.php>

Everett, M. (2013). *Near-surface applied geophysics*. Cambridge University Press.

IDAAN. (2012). Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacional. *Base de datos de pozos*. Herrera, Panamá.

IGNTG. (2016). Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia". *Atlas nacional de la República de Panamá*. Panamá.

INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censo de Panamá*. Retrieved Agosto 20, 2019, from Panamá en Cifras: http://www.contraloria.gob.pa/inec/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=17

Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2009). *Una introducción a la exploración geofísica* (3 ed.). (J. W. Sons, Ed.) Estados Unidos de América.

Kirsch, R. (2006). *Groundwater Geophysics: A Tool for Hydrogeology*. (S. S. Media, Ed.) Berlin.

Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of Geophysics* (2 ed.). (C. U. Press, Ed.)

Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., Teller, A., & Teller, E. (1953). Equation of state calculations by fast computing machines. *The journal of chemical physics*, 1087-1092.

Mi Ambiente. (2010). Ministerio de Ambiente. *Atlas Ambiental de la República de Panamá*. Panamá: Novo Art, S.A.

MICI. (1991). Ministerio de Comercio e Industrias, Dirección Nacional de Recursos Minerales. *República de Panamá, mapa geológico, 1: 250 000. Ed. 1, Panamá*. Panamá.

Mussett, A., & Khan, K. M. (2000). *Looking into the earth: an introduction to geological geophysics*. Cambridge University Press.

Optim Inc. (2013). Optim Software and Data Solutions, USA. *SeisOpt@2D Version 6.0 Users Manual and Software for Windows*. USA. Retrieved from SeisOpt Pro Version 3.0 Users Manual and Software for Windows.

Pullammanappallil, S., & Louie, J. (1994). A generalized simulated-annealing optimization for inversion of first-arrival times. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1397-1409.

Reynolds, J. (2011). *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons.

Sheehan, J., William, D., & Wayne, M. (2005). An evaluation of methods and available software for seismic refraction tomography analysis. *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*, 21-34.

Telford, W., Geldart, L., & Sheriff, R. (1990). *Applied Geophysics*. (C. U. Press, Ed.)

Zeta, M., Rubio, R., & García, Y. (2016). Ensayos Geofísicos de Refracción Sísmica y de Medición de Ondas de Corte (MASW y MAM) para usos de cimentación en obras de edificaciones. *Civilizate*, 8.

Recibido el 18 de abril de 2022

Aceptado el 30 de mayo de 2022

Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia



ARTICULO DE REVISION

INTELIGENCIA ARTIFICIAL: LA CAJA DE HERRAMIENTAS VIRTUALES AL SERVICIO DE LA BIOINFORMATICA

Roberto Daniel Gordon Graell

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

roberto.gordon@up.ac.pa 

RESUMEN

Una de las disciplinas científicas que más se ha potenciado con la Inteligencia Artificial (IA) es la Bioinformática. Las herramientas digitales que provee la tecnología permitieron dar un salto cuántico de calidad en el entendimiento del mapa de la vida, su funcionamiento y características que, a su vez, determinó un avance en las ciencias ómicas y en la comprensión y tratamiento de enfermedades como el cáncer. El estudio realizado es una revisión de la literatura en dos documentos relevantes en los procesos de aplicación de la Inteligencia Artificial en la medicina desde las dimensiones de acercamiento de la informática y la medicina, respectivamente. También se hizo una revisión documental en otras áreas de la biotecnología para caracterizar el avance y la interrelación de las dos disciplinas científicas en los procesos productivos. La conclusión más resaltante es el avance en conocimientos y calidad de vida que se ha producido desde la aparición de la bioinformática y el salto cualitativo que le ha significado la Inteligencia Artificial para todos los apartados de la sociedad humana.

PALABRAS CLAVES

Genoma, Gran Data, Algoritmo, Secuenciación, Aprendizaje

ARTIFICIAL INTELLIGENCE: VIRTUAL TOOLBOX AT THE SERVICE OF BIOINFORMATICS

ABSTRACT

One of the scientific disciplines that has been most enhanced by Artificial Intelligence (AI) is Bioinformatics. The digital tools provided by technology allowed a quantum leap of quality in the understanding of the map of life, its functioning and characteristics which, in turn, determined an advance in the omic sciences and in the understanding and treatment of diseases such as cancer. The study conducted is a literature review in two relevant papers on the application processes of Artificial Intelligence in medicine from the approach dimensions of computer science and medicine, respectively. A documentary review was also made in other areas of biotechnology to characterize the progress and interrelation of the two scientific disciplines in the productive processes. The most outstanding conclusion is the advance in knowledge and quality of life that has taken place since the appearance of bioinformatics and the qualitative leap that Artificial Intelligence has meant for all aspects of human society.

KEY WORDS

Genome, Big Data, Algorithm, Sequencing, Learning

INTRODUCCIÓN

La bioinformática es una de las disciplinas que forma parte de la amplia gama de ciencias y técnicas relacionadas con la biología. Es una de las disciplinas que transversalizan ese conjunto de ciencias gracias a su estudio de la información biológica fundamentada en la teoría de la información, las matemáticas y la computación. Nació con la necesidad de interpretar la información contenida en el genoma lo que requirió de algoritmos para catalogar, secuenciar encontrar similitudes y descubrir propiedades, determinar funciones y estructuras en las cadenas genéticas (Balatti y Flórez, 2019).

Como su nombre lo indica es la inserción de características biológicas de los seres vivos en entornos computarizados como variables de investigación o, dicho de otra manera, es la utilización de las facilidades que permiten la informática y sus aplicaciones en el entendimiento del desarrollo de los seres vivos. La gran diferencia es que lo hace a nivel micro, dentro de la célula, Ahí donde se escribe el código de la vida. Las cadenas de Ácidos Ribonucleicos (ARN) y nucleicos (ADN) que no son visibles al ojo humano y cuyo comportamiento, no es totalmente comprensible para los investigadores.

El genoma humano contiene alrededor de 60 gigabits de ‘información’ (sin comprimir). Razón por la que suponemos que se trata de información biológica importante, ya que ha permitido que las especies existan por lo menos 35,000 años y que ha sido cuidadosamente preservada de generación en generación (Biro, 2011).

Desde su aparición la bioinformática ha generado nuevas disciplinas científicas gracias a lo específico de sus aplicaciones. Las ciencias ómicas se desprenden de las diferentes especialidades del estudio del genoma en el Código Genético. La disciplina es científica y tecnológica, es el campo de interacción de la Biología Genética y Molecular con la Ciencia de la Computación y la Ingeniería Informática en la gestión del conocimiento genómico y proteómico. Su aplicación trascendió a las ciencias médicas convirtiéndose en apoyo fundamental de la producción agrícola y la industria, entre otros (Pin et al, 2021).

En la disciplina, la computación tiene una función esencial con el manejo y análisis de bases de datos biológicas. El manejo supone registro, resguardo, entornos, combinaciones y otras variables que, otrora, necesitaban de equipos humanos multidisciplinarios para atender todas las dimensiones y determinantes del dato, y la data, y los análisis de estos, corresponde al comportamiento de las secuencias, apreciación de datos biológicos, recuperación, manipulación y enlace con otras fuentes de datos en la importante tarea de entender regularidades en el Código Genético.

La función primordial de las técnicas bioinformáticas es la de ganar tiempo, así parezca pueril. Los procedimientos de la investigación biológica son complejos y muy complejos. El uso de aminoácidos, codones, tasas de sustitución sinónimas y no sinónimas, marcadores de proteínas, etc., encontraron en la disciplina un aliado para que el rango de tiempo necesario para el manejo y análisis de grandes volúmenes de datos. Se verifican informaciones que antes suponían hipótesis sobre poblaciones, de las que se tomaba una muestra representativa, para hacer una especulación científica que, aunque sustentada en el conocimiento y una lógica, no dejaba de ser especulación y que, en el mejor de los casos, tomaba unos pocos años verificar y convertir en conocimiento.

Su impacto en las diferentes ciencias que sirven al ser humano no es poco. Los avances en tecnologías de la salud y la producción se aprecian en muchos campos. La farmacéutica la utiliza para el desarrollo de nuevos fármacos desde la detección de potenciales dianas. Sus recursos son importantes en el desarrollo de otras áreas médicas como la Epidemiología y la Genética.

De igual forma la Investigación clínica y la toma de decisiones en salud, gracias a los biochips o la "biología in silico" que es la construcción del conocimiento a partir de teorías, simulaciones y experimentos realizados con sus tecnologías como la Realidad Virtual (RV), la Realidad Aumentada (RA) o la Realidad Mixta (RM) que permiten suponer que la relación genes y enfermedades es tan cercana que la información genética se hace indispensable en el avance del conocimiento médico (Rodríguez y Vargas, 2019).

Conceptualizar la Inteligencia Artificial (IA) es un trabajo complejo debido a las diferentes áreas y posturas gnoseológicas que abarca, tanto que, en la red, se encuentran millones de documentos que van desde artículos sencillos hasta tratados doctorales. Un acercamiento técnico procedimental es aquel que gira en torno a la idea de que la máquina emule la capacidad de las redes neuronales del ser humano para tomar decisiones para lo que se utilizan métodos de análisis de datos y desarrollo de algoritmos de procedimientos (Arbeláez et al, 2021).

La pequeña gran ventaja de la IA, sobre la capacidad humana que emula, es la ingente cantidad de datos que puede conocer y procesar en diferentes tipos de análisis y en tiempos relativamente cortos. La big data le revela sus secretos, muestra patrones y tendencias de hipótesis de investigación, determina comportamientos sociales y/o naturales en poblaciones de estudio, identifica entornos según los parámetros que requieran los investigadores y muchas otras funciones y aplicaciones más que, sin este avance en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) los investigadores humanos tardaron décadas en establecer en sus diferentes campos. (Gómez, 2021)

La IA es una de esas tecnologías disruptivas que son características de las ciencias de la computación que, aunque dejan en la obsolescencia tecnologías y técnicas anteriores, tiene la ventaja de escalar a un nivel

superior las formas de apoyar el entendimiento y la construcción del conocimiento humano. Son creaciones del entendimiento humano que permiten análisis y perspectivas de análisis de la información desde nuevos enfoques. Es una técnica adaptativa para superar la sociedad de la información y adentrarse en mejores condiciones en la sociedad del conocimiento (Orozco y Arango, 2016).

Como evolución de la informática no puede estar exenta de introducirse en el mundo de la bioinformática. Las capacidades de análisis de la información que suponen la especulación, la hipótesis, las relaciones lógicas o pseudológicas, las proyecciones y demás procesos reservados a la inteligencia humana y científica, se ven abordados con la capacidad superior del manejo de grandes volúmenes de información en tiempos relativamente cortos y con la reducción, al mínimo estadístico, del error. Los científicos cuentan con un asistente de campo súper potenciado.

El propósito de este trabajo es determinar diferentes formas en que la bioinformática se apoya en la IA para servir a las disciplinas del saber humano tanto para producir conocimiento como para traducirlo en bienes de consumo y servicio para la sociedad y su civilización. Para ello se realizó en una revisión documental a través de la red para caracterizar las formas de aplicación de la tecnología en diferentes trabajos científicos. Con los resultados pretende hacer un ejercicio de especulación de cuál será el siguiente paso en que las aplicaciones de la informática disruptiva eleven, un nivel más, la forma de obtener el conocimiento en la bioinformática.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados para el análisis fueron extraídos de documentos científicos, de diferentes disciplinas científicas y de aplicación en la producción de bienes, que están presentes en la red. Se revisaron documentos obtenidos en una revisión simple según cadena de búsqueda “Bioinformática, Inteligencia artificial, herramientas, trabajos doctorales”, y derivadas, en el buscador público de Google. Se seleccionaron Investigaciones en diferentes disciplinas relacionada con la informática y la medicina cuyo criterio de inclusión fue la selección y utilización de herramientas digitales que provee la Inteligencia

Artificial y su forma de aplicación en el análisis, generación y presentación de resultados del investigador.

Para la descripción de la selección y uso de herramientas se seleccionaron dos trabajos que, a criterio del investigador, cumplen con los parámetros de búsqueda y permiten dar un ejemplo de las herramientas disponibles para los investigadores y las posibilidades de adaptación o base de diseño de estas a las características particulares de cada investigación.

De igual forma se revisaron documentos de botánica, biología marina, veterinaria e ingeniería de software, para caracterizar las aplicaciones de la IA en que se apoyaron como tecnología disruptiva de la bioinformática y cuál es el beneficio que aportan.

También se creyó necesario investigar la presencia de la bioinformática en la República de Panamá por lo que se recurrió a documentos oficiales del ente correspondiente en su portal web como es la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT)

Es una investigación que abarca documentos desde de las dos últimas décadas, 2002-2021 incluidos, de corte documental, cualitativo, descriptivo de las características previamente determinadas.

RESULTADOS

El lenguaje informático de las proteínas

Uno de los campos que potenció la IA en la biotecnología es el entendimiento de cómo funciona las estructuras de las proteínas puesto que, en ocasiones, comparten una misma estructura, pero no la misma función. Significa que sus secuencias pueden ser muy distintas, así estén estructuradas en una arquitectura muy similar, y cumplen funciones diferentes. Entender su comportamiento es un tema complejo por el amplio número de propiedades y relaciones entre sus componentes, los aminoácidos.

El alfabeto del Genoma Humano es tan amplio como permiten tres mil millones de pares de bases o “letras” en una complejidad gramatical que,

para la máquina, puede resultar en redundancia algorítmica. Para hacerlo maleable se necesita una gama de alfabetos reducidos, con diferentes subconjuntos que a su vez deben estar determinados por las propiedades fisicoquímicas de los aminoácidos, como son la hidrofobicidad y el volumen. Para los investigadores representa la identificación correcta de la síntesis, natural o artificial, de una proteína específica (Weidenslaufer et al, 2019).

Cada elemento es un símbolo que tiene su representación en un binario. Cada combinación es una determinante de la arquitectura del compuesto de elementos que, a su vez, determina la función y que en la arquitectura computarizada de la IA es un algoritmo secuencial. Lo importante es entender cómo van las secuencias de algoritmos que representaran una función o un estado que permita reconocer la proteína.

Las secuencias también representan características de los elementos y los parámetros en que se presentan o cumplen una función, en este caso los aminoácidos. Así parámetros físicos de la termodinámica como la pérdida de calor, cambios de energía libre de Gibbs y temperaturas de transición, entre otras, que resultan fundamentales para el entendimiento de la estructura y la estabilidad de las proteínas y, por supuesto, su función.

Los resultados de las combinaciones de cada proteína, en la aplicación IA, se presentan en una matriz compleja, en hojas de cálculo, básicamente en Excel, compuesta a su vez de una matriz superior y una inferior en bases numéricas. Las resultantes permiten la construcción de diferentes herramientas interpretativas según la necesidad de los usuarios como diagramas, esquemas, representaciones estructurales, dendogramas, y mapas de secuencias, genéticas entre otros.

Aplicación en la Protogenómica

El uso de datos ómicos en biomedicina crece muy rápidamente como el estudio global de los sistemas celulares en un nivel concreto. Las principales ciencias ómicas desarrolladas en los últimos años son la Genómica, la Transcriptómica, la Proteómica y la Metabolómica. El concepto proteoma fusiona las palabras proteína y genoma, el primero como dotación génica de una célula u organismo y el segundo entendido

En la Biología de sistemas, el método de representación y análisis más frecuente es la utilización de redes neuronales o redes biológicas. El autor recurre al metaanálisis del volumen de datos provenientes de linfocitos B y T o de líneas celulares primarias de pacientes con leucemia, en el que cada elemento participante, en un proceso celular particular estudiado, se representará con un nodo y la relación entre ellos se representará con una arista o conexión. Ambos elementos que integrarán partiendo de una red de datos ya creada proveniente de diferentes bases de datos. “Las redes pueden representar (i) procesos biológicos simples; (ii) la combinación de varios procesos o rutas; o (iii) directamente un interactoma, el cuál incluiría todo elemento y procesos biológicos llevados a cabo por un organismo” (Friedrich, 2017).

Para el procesamiento de los resultados utiliza diferentes herramientas bioinformáticas con IA para hacer una conversión de identificadores biológicos a digitales y establecer un único identificador (ID) por cada proteína. El utilizado por el autor en su propuesta de tesis es uno muy utilizado por los investigadores en proteómica que permite hacer tablas de mapeo y muestra si la información de una proteína es, o fue, revisada por expertos. La tabla creada es muy importante porque permite generar bases de datos integrativas y relaciona los ID con los de otros programas.

Los pasos siguientes son la preparación de bases de datos de redes que sean compatibles con otros programas, el procesado de set de datos transcriptómicos, la preparación de casos de estudio, visualización de la representación digital, el análisis proteogenómico cualitativo de la línea celular en ramos de linfoma de células B y otra serie de procedimientos inherentes al estudio del cáncer que utiliza una composición de herramientas de IA. La síntesis objetiva de Friederich (2017) y Franch (2019) se pueden ver en la tabla 1.

Tabla 1. Trabajos de Proteogenómica. Síntesis de objetivos

Objetivo	Resultados esperados
Friederich (2017) Desarrollo y aplicación de algoritmos bioinformáticos	Base integrativa de datos biológicos. Traducción de rutas biológicas a redes de y proteínas. Análisis integrativo de calidad de set de datos proteómicos y set de datos transcriptómicos. Integración de datos proteómicos y fosfoproteómicos cuantitativos.
Franch (2019) Desarrollo y aplicación de métodos bioinformáticos para análisis de datos biológicos	Flujos de análisis automáticos o semi-automáticos de datos biológicos. Identificación el interactoma de las células madre y hematopoyéticas. Herramienta bioinformática para reposicionamiento de fármacos. Interfaces de visualización y comparación de experimentos bioinformáticos. Bases de datos Proteogenómicas con variaciones y nuevas uniones a las bases de datos de referencia.

La Tabla 1 permite observar que los dos trabajos doctorales son de base médica, pero de expresión bioinformática.

Friederich desarrolla algoritmos de aplicación bioinformática y Franch diseña métodos con aplicaciones ya diseñadas. Friederich se orienta a la producción de datos y bases de datos mientras Franch se ocupa del diseño de métodos y herramientas.

Cada autor realizó más de dos procedimientos por objetivo para lo que recurrió una media de diez tareas diferentes utilizando un mínimo de dos herramientas bioinformáticas por lo que, cada uno, utilizó más de veinte herramientas y aplicaciones bioinformáticas al alcance en la Internet. Eso permite a los investigadores profundizar en sistemas complejos a diferentes niveles celulares que antes eran imposibles.

Aplicaciones a la biotecnología

No solo la medicina se aprovecha de las virtudes de la bioinformática con IA. En el universo de la red se encuentra un sinnúmero de trabajos de Informática en las biociencias y viceversa. En la botánica se encuentra el uso de las redes neuronales artificiales para obtener información útil y aplicable en procedimientos como la modelización del enraizamiento y aclimatación de plántulas micropropagadas, la lógica difusa para la detección de factores clave en el enraizamiento y aclimatación, el diseño de medios de cultivo y para la optimización de las condiciones de cultivo para la obtención de plántulas sanas micropropagadas y elucidar los factores críticos de la germinación de especies en peligro de extinción. (Chico, 2017)

En una sociedad que soporta su ingesta proteica en el ganado vacuno la identificación, registro y monitoreo del movimiento de animal es esencial en la industria y eje de la política agrícola para los gobiernos nacionales. El control de enfermedades, la higiene correspondiente, la calidad de los alimentos son esquemas de seguimiento que garantizan la calidad para lo que muchos países construyen bases de datos de la ganadería nacional a través de etiquetas numeradas de identificación.

En Panamá, Villalobos et al. (2020) realizaron una investigación de trazabilidad en bovinos como parte del Proyecto: Conservación y Uso de Bovino Criollo Panameño, con financiamiento del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), SENACYT y el Sistema Nacional de Investigación (SNI).), Utilizaron como método la secuenciación de siguiente generación (NGS) y los procedimientos de amplificación en puente y secuenciación por síntesis cuyos datos se analizaron en programas de análisis de secuenciación de genotipos. Todas las herramientas digitales que utilizaron son de uso comercial y de presencia en la red.

Johnson (2017) registró para el SENACYT, en el año 2015, trabajos en tecnología e investigaciones cuyos resultados cuantitativos son:

- Biotecnología animal: 6 en Veterinaria, 2 en Acuicultura y 1 en Mosquitos, control de vectores.
- Biotecnología forestal y agrícola: 1 en Clonación, 2 en Transgénicos, 1 Fitosanitario, 1 genética y 1 Fermentación etílica

- Biotecnología humana: 5 en células madre y 8 en Estudios clínicos.
- Limpieza ambiental, Biorremediación: 3 en hidrocarburos, 1 en energías renovables y 3 en suelos y aguas.
- Biotecnología de alimentos: 3 en alimentos y 2 en energías.

Son 29 trabajos cuya descripción cualitativa no es profunda, pero dejan entrever el uso de bases de datos mundiales y uso de la bioinformática con IA.

El desarrollo de herramientas de IA para la bioinformática es variado y trata de cubrir varias necesidades que van desde lenguajes de programación, actualizaciones de aplicaciones, diseño en software libre, plataformas de diferentes usos y la insuficiente formación en informática de los investigadores biológicos. Eso también implica un problema puesto que “[...] al ser tan diversas y con propósitos tan diferentes se hace indispensable la automatización de la ejecución de estas herramientas, sin perder demasiado tiempo configurándolas” (Orozco y Arango, 2016)

Dentro de la variedad de software libres que existen para diseñar aplicaciones según la necesidad del investigador se encuentran bases de datos biológicas como Perl, Bio* Toolkits, NCBI Toolkit y EMBOSS (European Molecular Biology Open Software Suite. Las bases almacenan ingentes cantidades de información, desde secuencias de genes y genomas, hasta secuencias de proteínas y proteomas además de artículos, literatura relacionada, rutas metabólicas, estructuras proteicas, ontología, o Polimorfismo de un solo nucleótido Single (SNP por sus siglas en inglés), etc., todas según la temática, área o el objetivo al que van enfocados (Alcalde, 2016).

Los investigadores encuentran herramientas fundamentales para el análisis de secuencias, anotación de genomas, Biología evolutiva computacional, medición de la biodiversidad, análisis de la expresión y regulación génica, predicción de la estructura de proteínas, genómica comparativa, modelado de sistemas biológicos y Acoplamiento molecular, todos procesos complejos de múltiples procedimientos y gran volumen de data que no son posibles al cálculo humano tradicional (Alcalde, 2016).

Era un futuro previsto unos años antes con el inicio de la disciplina bioinformática en su etapa estadística. Lo disruptivo de las tecnologías de la ciencia de la computación permitía prever la integración del conocimiento dentro del genoma para conocer, más profundamente, sus componentes, estructuras y funciones. Entre otras herramientas se preveían las representaciones virtuales de organismos, simulaciones ante perturbaciones virtuales, diseños de transmisión vectorial y protocolos más cortos en el tiempo que, en forma experimental, eran imposibles y acceso y análisis de grandes volúmenes de datos (Pin et al, 2021).

Las diferentes aplicaciones bioinformáticas trabajan con la misma materia prima presente en todos los seres vivos como lo es el material genético. León (2015) realiza una investigación en biología marina para establecer la conectividad poblacional en invertebrados y especies demersales del Pacífico mexicano como proceso fundamental de intercambio genético y renovación de población que son características importantes en el mantenimiento de la biodiversidad.

La investigación requirió de análisis genético a nivel larvario para determinar el potencial de dispersión larvario, diferenciación genética entre especies, influencia de mecanismos genéticos y ecológicos a nivel de comunidad sobre la composición genética de las especies del ecosistema, análisis de ADN mitocondrial como en los loci microsatelitales y valores de flujo genético que no hubieran sido posibles sin una herramienta, altamente tecnológica, que permitió los diferentes resultados de los análisis genéticos y el acceso a múltiples bases de datos en tiempo real. (León, 2015)

DISCUSIÓN

Los trabajos analizados muestran un manejo de datos, informaciones y especulaciones con bases matemáticas en tiempos cortos que para el ser humano son imposibles. Las tecnologías de IA tanto Machine Learning (ML) como big data o cadena de bloques coloca el dato donde le ordenan y de inmediato sabe que lo aplicará allí todo el tiempo. No hay que repetir el comando cuando el dato este entre los parámetros del primero. De ahí en adelante aprenderá a reconocer similitudes y diferencias y derivará algoritmos para reconocer patrones y relaciones. Esas funciones son esenciales en la bioinformática.

Todas las aplicaciones se basan en la imitación de las funciones humanas. Guardar el dato en matrices es la función memorística del humano, pero no se trata de solo coleccionar el dato sino asignarlo en el lugar correspondiente y correlacionarlo con otros datos y proyectar los resultados posibles. Las aplicaciones de IA de las investigaciones revisadas se construyeron para su función determinada con base en tecnologías existentes y disponibles en diversas, y diferentes plataformas, presentes en la red, en diferentes lenguajes y sistemas.

Los autores utilizaron aplicaciones disponibles en la red para la construcción de sus propias herramientas a la medida de las necesidades y requerimientos de los estudios. Los resultados no fueron concluyentes por lo que requirió del análisis humano, la redimensión de la herramienta, la experimentación y el ensayo y error con la tecnología y sus usos. No fue la aplicación de una herramienta exacta para un uso específico sino la modulación de una herramienta digital maleable, adaptable y que requirió del reajuste de los parámetros de trabajo.

El ML utiliza algoritmos que “imitan” la estructura y función del cerebro. Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) son modelos digitales que procesan la información simulando el funcionamiento de las neuronas biológicas. Están compuestas por nodos o “neuronas” que procesan toda la información y que están conectados como una red por lo que se sirven, y apoyan, del conocimiento de diferentes bases de datos. Ayudan a que los sistemas funcionen como un cerebro humano en el proceso de aprendizaje. Están conformadas por múltiples capas de nodos ocultos que transmiten la información, de entrada y salida entre los nodos, llamadas “capas de aprendizaje”. A mayor cantidad de capas, mayor es la profundidad de la red y mayor es la capacidad de aprendizaje. (Martínez C., 2020)

La IA se adapta perfectamente a los estudios genéticos porque, más que las características particulares de los genes, de las proteínas o cualquiera de los elementos de estudio, el papel que realizan, su comportamiento y sus funciones se determinan en cómo se relacionan o sus secuencias. La IA no usa algoritmos cuantitativos sino secuenciales. Utiliza técnicas de secuenciación que permiten realizar análisis estructurales de comportamientos en forma de encadenamientos o continuidades. A su

vez permite construir modelos, tanto de elementos como de secuencias o cualquiera de las formas que requiera el investigador, con el uso de la RV, La RA y la RM

En la medida en que avanzan las investigaciones las bases de datos se van incrementando. Todos los días alrededor del mundo se van incrementando los sitios con informaciones de investigaciones recientes con sus resultados y perspectivas. De esa forma los investigadores del año 2016 tuvieron a su disposición un volumen de datos superior a los de años anteriores, así como los del año 2022 tendrán a su disposición los resultados del año 2021.

CONCLUSIONES

La bioinformática permite el manejo de grandes volúmenes de datos en los que se verifican informaciones que antes suponían hipótesis sobre poblaciones de las que se tomaba una muestra representativa. También se redujeron los tiempos de entrega. La IA permite mayor fiabilidad en los resultados, mayor calidad en los productos, mayor seguridad en los consecuencias y beneficios de un servicio y por lo tanto mayor calidad de vida.

En la bioinformática la IA es un ejemplo claro de la evolución en términos informáticos. No es un desarrollo que potenció una tecnología sino una aplicación evolutiva que elevó de nivel una disciplina de por si compleja y en extremo útil para el ser humano. Entender la cadena de la vida ya es un gran avance, pero comprender las secuencias en que se conforman los mapas genéticos y sus resultados es ponerse a un paso, metafórico, de revelar procesos que permitan alargar la o vivirla en ausencia de enfermedades.

El análisis de los virus, como el coronavirus COVID 19, es uno de los mejores ejemplos de la IA en la bioinformática. Gracias a sus recursos didácticos el público conoció la imagen virtual de la forma del virus, su estructura, su comportamiento y sus deferentes metamorfosis en tiempo real. Sin la IA no hubiese sido posible. Las diferentes vacunas no fueron aplicadas, antes, por protocolos éticos de investigación en humanos que exigen tiempos determinados. Los resultados de los experimentos confirmaron los presupuestos matemáticos, estructurales y de eficiencia de las vacunas que ya se conocían, con niveles insignificantes de error.

Una especulación científica es que, para el próximo virus que enfrente la humanidad, los tiempos de respuesta en la síntesis de un compuesto vacunal serán menores. La prueba mundial del COVID 19 permitirá, en un futuro tal vez no muy lejano, que el compuesto virtual se apruebe aun antes de experimentar con humanos gracias a la IA. Ni siquiera la comunidad científica mundial puede soslayar la fabricación de cinco mil millones de dosis en un proceso de IoT en menos de dos años. También producto de bioinformática y la IA en apoyo al conocimiento humano.

El debate sobre la ética siempre está sobre la mesa, pero poco a poco se acerca el momento en que la IA diseñe un proceso de investigación y lo efectúe a cabalidad sin la intervención humana. Que la misma maquina decida hacia dónde va la experimentación y ponga los límites éticos. Será uno de los grandes avances de las tecnologías disruptivas que, para su desventaja, no posee lo que motiva al ser humano y juega a su favor: La curiosidad.

REFERENCIAS

Alcalde, M. (2016). Software libre enfocado en diversos campos de las ciencias. Hamut'ay, 3(1). Enero-junio 2016, 59-70: <http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/HAMUT/issue/archive>

Arbeláez, D., Villasmil, J., y Rojas, M. (2021). Inteligencia artificial y condición humana: ¿Entidades contrapuestas o fuerzas complementarias? Revista de Ciencias Sociales (Ve), 28(2), 501-512: <https://www.redalyc.org/journal/280/28066593034/28066593034.pdf>

Balatti, G., y Flórez, N. (2019). Bioinformática para la creación y fortalecimiento de empresas de base tecnológica: conceptos y aplicaciones. PDG, 42-62: https://www.researchgate.net/publication/336702599_Bioinformatica_para_la_creacion_y_fortalecimiento_de_empresas_de_base_tecnologica_conceptos_y_aplicaciones

Biro, J. (2011). Biological information: Definitions from a biological perspective. Obtenido de Information : Information Science Journal, 2(1), 117-139: <https://www.mdpi.com/2078-2489/2/1/117>

Chico, J. (2017). Biotecnología e inteligencia artificial. SAGASTEGUIANA, 5(1), enero-julio 2017, editorial: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REVSAGAS/issue/view/380>

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/>

Friedrich, C. (2017). Bioinformática para integrar información de la proteína y del gen en un contexto relacional, aplicación a los datos proteómicos y transcriptómicos humanos. [Tesis Doctoral] Universidad de Salamanca: https://gredos.usal.es/bitstream/handle/10366/135785/CIC_DrospeCF_Anexos.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Gómez, S. (2021). Bioinformática como recurso educativo para enseñar variabilidad genética mediante la comparación de mapas de restricción. Rev. Asoc. Col. Cienc.(Col.), 2021; 33: 36-45.: doi.org/10.47499/revistaacbv1i33.231

Johnson, J. (2017). Levantamiento de Línea Base de Indicadores de Biotecnología de Panamá, 2015. Recuperado el 28 de junio de 2021, de Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT): <https://www.senacyt.gob.pa/ublicaciones/wp-tent/uploads/2019/07/23-Biotecnolog%C3%ADa-L%C3%ADnea.pdf>

León, M. (2015). Análisis comparativo de los patrones de conectividad genética de especies arrecifales del Pacífico mexicano. [Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias.] Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2260648>

Martínez, C. (2020). Inteligencia artificial y salud. Centro de Estudios en Tecnología y Sociedad (CETyS): https://www.udesa.edu.ar/sites/default/files/inteligencia_artificial_y_salud_1.pdf

NHGRI. (2020). Hoja de datos del mapeo genético. National Human Genome Research Institut. Hoja de datos del mapeo genético: <https://www.genome.gov/es/about-genomics/fact-sheets/Hoja-de-datos-del-mapeo-gen%C3%A9tico>

Orozco, S., y Arango, J. (2016). Aplicación de la inteligencia artificial en la bioinformática, avances, definiciones y herramientas. UGCiencia 22, 159-171.: <https://core.ac.uk/download/pdf/268087858.pdf>

Pin, Á., Holguín, M., Hidalgo, Y., y Villacreses, V. (2021). Uso de aplicaciones bioinformáticas en el área de salud pública en Ecuador y Latinoamérica. Pol. Con. (Ed. 56) 6(3) marzo 2021, 1934-1944: DOI: 10.23857/pc.v6i3.2483

Rodríguez, W., y Vargas, J. (2019). Biochips, aplicaciones convencionales e innovación: Una revisión documental. 7(2), julio - diciembre 2019, 1-11: doi.org/10.17081/invinno.7.2.3086

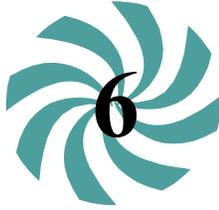
Villalobos, A., González, R., Murillo, M., y Castillo, H. (2020). Panel reducido de polimorfismos de nucleótido simple para estudios de biodiversidad en bovinos. Ciencia agropecuaria, 31, julio-diciembre 2020, <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/298/237>

Weidenslaufer, C., Torres, R., y Hernández, R. (2019). Medicina Genómica. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Asesoría Técnica Parlamentaria: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27426/1/BCN_Medicina_Genomica_2019.pdf

Recibido el 16 de diciembre de 2022.

Aceptado el 12 de abril de 2022.

Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia



UN MODELO MATEMÁTICO DE CLASIFICACIÓN DE PACIENTES CON SINTOMAS COVID-19

Julio Enrique Trujillo González¹ & Iveth Verónica Martínez Valderrama¹

¹Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología,
Departamento de Matemática julio.trujillo@up.ac.pa  iveth.martinez@up.ac.pa 

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es clasificar pacientes con síntomas de COVID-19 utilizando la estructura de una red neuronal artificial, optimizándola mediante el método de Stochastic gradient descent (SGD) y el método Adam. Los paquetes *Tensorflow* fueron de gran utilidad para obtener el modelo de forma secuencial y los resultados que aseguran que es posible modificar o insertar datos nuevos. La incorporación de la red neuronal artificial nos permitirá hacer una clasificación que toma en cuenta el 99% de la variabilidad de la(s) variable(es) dependiente(s) dentro del conjunto de datos.

PALABRAS CLAVES

Perceptrón, Red neuronal artificial, COVID-19

A MATHEMATICAL MODEL FOR CLASSIFICATION OF PATIENTS WITH COVID-19 SYMPTOMS

ABSTRACT

The objective of this work is to classify patients with COVID-19 symptoms using the structural an artificial neural network, optimizing it using the Stochastic gradient descent (SGD) method and the Adam method. Tensorflow packages were very useful to obtain the model sequentially and the results that ensure that it is possible to modify or insert new data. The incorporation of the artificial neural network will allow us to make a classification that takes into account 99% of the variability of the dependent variable(s) within the data set.

KEY WORDS

Perceptron, Artificial Neural Network, COVID-19

INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA) ha intervenido en nuestras vidas de forma espectacular. Es indiscutible que, en diversas actividades, la mano de obra puede ser reemplazada por IA que realiza el trabajo en un periodo corto de tiempo. Su intervención se ha extendido al empleo de técnicas de aprendizaje automático, en aplicaciones clínicas para apoyar un sistema inteligente para una detección temprana y un método de diagnóstico de la enfermedad (Tama & Lim, 2020), entre otras. Además, ayuda a los médicos proporcionando una segunda opinión sobre un diagnóstico clínico eficaz y más efectivo, así como en otras tareas relacionadas que evite el error humano de manera que se evite el riesgo de perder la vida del paciente.

Muchos investigadores han desarrollado diferentes algoritmos de aprendizaje automático para el diagnóstico de enfermedades y han aceptado que los algoritmos funcionan bien en el diagnóstico de diferentes enfermedades. En la Fig. 1 se muestra algunos ejemplos de enfermedades diagnosticadas por técnicas de aprendizaje automático.

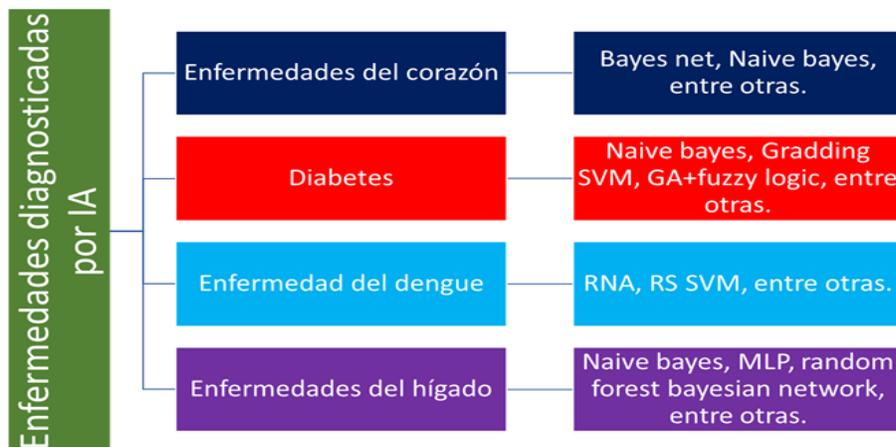


Figura. 1 Enfermedades diagnosticadas por Aprendizaje Automático

Este trabajo se centra en implementar el algoritmo de clasificación propuesto en la tesis “Modelización de la predicción de riesgo de la dinámica de transmisión de la influenza en la provincia de Panamá” (Trujillo, 2020) en el caso particular para el COVID, donde podamos observar el índice de efectividad de este algoritmo, cuya estructura es una red neuronal artificial (RNA).

1. Antecedentes de las redes neuronales artificiales

El desarrollo de las ciencias de la computación ha motivado que los modelos matemáticos sean automatizados y utilizados como herramientas para el desarrollo de la humanidad. Como he de esperarse existen modelos que intentan simular el modo que el ser humano aprende, lo que se conoce como modelos de Inteligencia artificial (IA).

Es así, que tomar como modelo una neurona cerebral y abstraer sus partes nos permite describir su comportamiento. Esto originó una nueva área de estudio llamada redes neuronales artificiales o simplemente redes neuronales (RN).

Nuestro punto de partida va a ser el modelo propuesto por los fisiólogos y biofísicos ingleses, Alan Lloyd Hodgkin y Andrew Fielding Huxley que, en 1952, describieron los mecanismos iónicos por los que producían y propagaban los pulsos a lo largo del axón gigante de un calamar. Además, explicaremos el modelo presentado por (Berzal, 2019).

El mecanismo del potencial de acción de la RN depende de la apertura de canales de iones en la membrana celular de la neurona. Esos canales permiten que los iones de sodio, Na^+ , penetren el axón y causen un aumento del potencial de la membrana, que al ser de grasa actúa como un aislante, descrito en la Fig. 2.

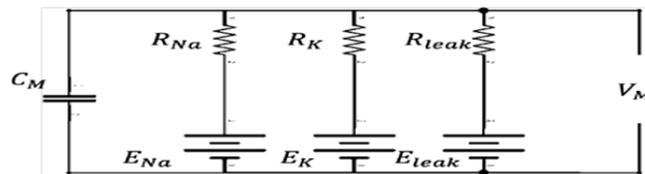


Figura 2 Modelo Hodgkin-Huxley

En este modelo el potencial de la membrada V_M está dado por

$$C_M \frac{DV_M}{dt} = -g_{leak} (V_M - E_{leak}) - g_{Na} (V_j - E_{Na}) - g_K (V_M - E_K) \quad (1)$$

donde

- i) g indica la conductividad de los canales de sodio, potasio y pérdida o escape (leak).
- ii) Los potenciales E corresponde a los gradientes electroquímicos asociados al flujo de los iones: E_{Na} (sodio), E_K potasio y E_{leak} (Corriente perdida).
- iii) C_M es la capacidad asociada a la membrana como condensador.

Cuando se conectan múltiples segmentos del axón, aparecen el fenómeno de la propagación del potencial de acción o pulso (spike). En el caso de un circuito el pulso se movería en las dos direcciones, pero en una neurona biológica sólo se movería en un sentido.

Ignorando los canales de iones, obtenemos el siguiente modelo «Leaky integration and fire neuron model»

$$C_M \frac{DV_M}{dt} = -g_{leak} (V_j - E_{leak}) + g_{int} \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i \quad (2)$$

donde

- i) V_j representa el potencial de la membrana para la neurona j –ésima.
- ii) x_i la salida actual de la neurona j –ésima.
- iii) w_{ij} el peso de la conexión desde la neurona i hasta la neurona j .

Para el modelo presentado, asumiremos que $E_{leak} = 0$, $g_{leak} = 1$, $g_{int} = 1$ y exigiremos que la neurona no tenga memoria, obteniendo

$$V_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i \quad (3)$$

En ocasiones nos interesa que el comportamiento de la neurona tenga un sesgo, que es similar a las corrientes de pérdidas en una neurona
Tecnociencia, Vol. 24, N°2 69

biológica. El sesgo va a depender del estado de la neurona, descrito de la forma:

$$\Delta V_j = -V_j + \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i \quad (4)$$

donde ΔV_j dota a la neurona de una capacidad de memoria. Gran parte de los modelos consideran un sesgo externo o bias, b_j

$$V_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i + b_j \quad (5)$$

De manera que $b_j = w_{0j}$, está asociado a una entrada fija $x_0 = 1$.

En la entrada, una neurona combina las diferentes entradas x_i con sus pesos asociados, para determinar la entrada total z_j , descrita por

$$z_j = \sum_i w_{ij} x_i \quad (6)$$

En la activación, utiliza los valores de entrada para generar una salida y_j , obteniendo un modelo numérico

$$y_j = f(z_j) = f\left(\sum_i w_{ij} x_i\right) \quad (7)$$

donde f es una función de activación, usualmente no lineal. Lo podemos escribir como

$$y_j = f(w^T x) \quad (8)$$

donde w es un vector de pesos w_{ij} y x el vector de entradas x_i , cuando se toman varias neuronas que interactúan conjuntamente se forma una capa de neuronas.

La notación vectorial simplificada al diseñar la red neuronal compuesta por varias capas nos da la expresión.

$$y = f(Wx) \quad (9)$$

donde y es el vector de salida de la capa $m \times 1$; x es el vector de entradas $n \times 1$ y W es la matriz de pesos $m \times n$.

Es relativamente sencillo incorporar los sesgos de las neuronas a la expresión (9), obteniendo la expresión.

$$y = f(Wx) + b \quad (10)$$

2. Perceptrón

El origen del *Deep learning* se remonta a 1943, cuando Warren McCulloch y Walter Pitts describieron en su artículo el primer modelo de red neuronal artificial.

Fueron los primeros en estudiar el cerebro desde un enfoque computacional, en donde con sus ingenios resolvieron problemas sin interpretar el funcionamiento del ordenador de forma algorítmica. Fue así, que plantearon un algoritmo de aprendizaje que ajustara los parámetros de la red automáticamente, de manera similar a una máquina de Turing.

Alan Turing, fue el primero en considerar el entrenamiento de redes, conectadas de forma aleatoria demostrado, en su publicación de 1948 “*Unorganized machine*”.

Posteriormente, fueron muchos los investigadores que contribuyeron al desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA.), de los cuales destacamos a Frank Rosenblatt, quien diseñó el algoritmo de aprendizaje del perceptrón como se muestra en Fig. 3 y quien utilizó el término conexionista para distinguir su aproximación a IA (Rosenblatt, 1960).

Algorithm 1 Algoritmo del Perceptrón

```
1: procedure PERCEPTRON( $w_0$ )
2:    $w_1 \leftarrow w_0$  ▷ Usualmente  $w_0 = 0$ 
3:   for  $t \leftarrow 1, T$  do
4:     RECIBIR( $x_t$ )
5:      $\bar{z}_t \leftarrow \text{sgn}(w_t \cdot x_t)$ 
6:     RECIBIR( $z_t$ )
7:      $error = |\bar{z}_t - z_t|$ 
8:     if  $error > 0$  then
9:        $w_{t+1} \leftarrow w_t + z_t x_t$ 
10:    else
11:       $w_{t+1} \leftarrow w_t$ 
12:    end if
13:  end for
14:  return  $w_{T+1}$ ;
15: end procedure
```

Figura 3 Algoritmo del Perceptrón

Para la tarea de clasificación de z_t es usual usar +1 o -1. La regla de aprendizaje del perceptrón es relativamente simple y la describimos de la siguiente manera:

- i) Comenzar con pesos aleatorios para las conexiones,
- ii) Seleccionar el vector x_t para el entrenamiento,
- iii) Si $|\bar{z}_t - z_t| > 0$, modificar todas las conexiones $w(i)$ de acuerdo con: $z_t(i)x_t(i)$
- iv) Regresar al paso ii.

Para la regla de aprendizaje del perceptrón existe un teorema de convergencia, el cual establece lo siguiente

Teorema. Si existe un conjunto de pesos w^* el cual es capaz de realizar la transformación \bar{z}_t , la regla de aprendizaje del perceptrón convergerá a una solución en una cantidad finita de pasos para cualquier elección inicial de los pesos.

Prueba. La prueba de este teorema fue realizada por Trujillo, (2020)

3. Modelo de clasificación de pacientes

Las variables que consideraremos, para el estudio, serán las mismas utilizadas para pronosticar cuando un paciente contrae COVID-19, entre las cuales tenemos: la fatiga, expectoración, nariz tapada, fiebre, tos seca, entre otras (Michelen y col., 2020).

Por lo tanto, para predecir la severidad de la enfermedad, es razonable considerar los síntomas como datos de entrada. En este estudio se utilizará, para la prueba, el conjunto de datos del COVID-19 *Symptoms Checker* que consta de 31680 registros para todas las variables. En este estudio utilizamos el 70% en el modelo de predicción y el 30% restante para la verificación del modelo.

El modelo RN es desarrollado para predecir que personas, infectadas, desarrollaran una situación de gravedad de la enfermedad.

Es importante destacar que el modelo utilizado es una RN multicapa (Gulli, Kappor & Pal, 2019) de manera que se desarrollen las combinaciones no lineales de las variables de entrada. Se empleará

funciones de activación RELU y Softmax en las capas ocultas, y en el nodo de salida se utiliza también RELU.

Las RN cuentan con seis capas ocultas, ver en Fig. 4, y se entrena utilizando un algoritmo de gradiente descendiente estocástico (SGD) y términos de momento. El número de nodos varía entre 5 y 20 en la que en cada iteración se calcula el error cuadrático medio (MSE) entre la salida del modelo y los datos.

Para fines de predicción, la propiedad más importante de un modelo es su competencia para generalizar. Si bien la competencia de generalización indica el poder de un modelo en el buen desempeño aún con datos no utilizados para entrenarlo. El sobreajuste evita la generalización del modelo frente a nuevas situaciones (Bishop, 1995), así para evitar esto, se emplea la interrupción temprana (EarlyStopping) de la técnica de regularización más utilizada y con el uso de la capa de abandono (Dropout).

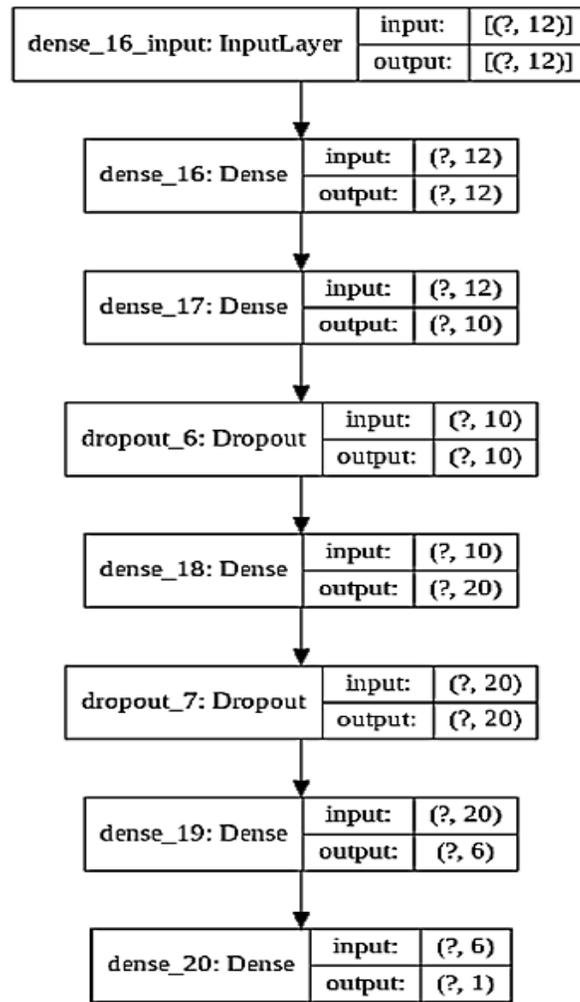


Figura 4 Arquitectura de la red neuronal artificial

El análisis del modelo de redes neuronales, en Fig. 5, correspondiente al entrenamiento del modelo. Es fácil observar como el patrón en el entrenamiento tiene un comportamiento parecido a la prueba. Además, cómo la convergencia de ambos coincide en un valor cercano a la iteración 315 y 68, respectivamente.

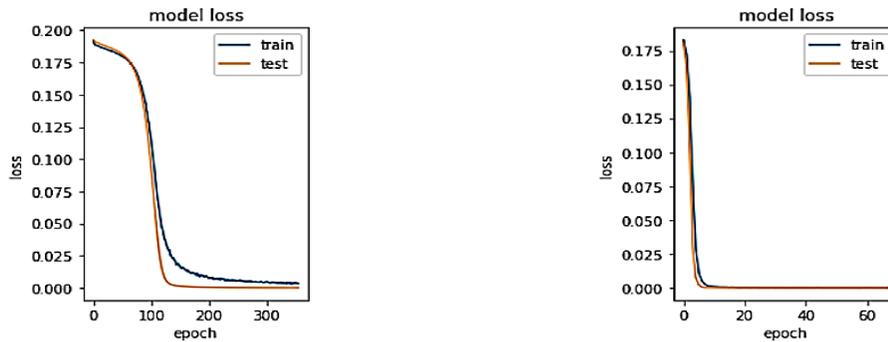


Figura 5 Precisión y error promedio

Lo anterior nos evidencia que el modelo propuesto tendría una buena estimación al utilizar datos reales.

Tomando en cuenta que para la evaluación de cada uno de los algoritmos de optimización la data se obtuvo de *COVID-19 Symptoms Checker*, mostrando la eficiencia de cada uno en la tabla 1.

Tabla 1 Comparación de los modelos SGD y Adam

Optimizador	R^2	MSE	MAE
SGD	0.999778805	4.190119882e-05	3.288483711e-03
Adam	0.999999913	1.645122019e-08	6.462799178e-05

CONCLUSIONES

El propósito del modelo de RN era identificar de forma temprana las personas que podrían presentar cuadros graves de COVID-19 y con esta información elaborar una estrategia y solicitar los recursos mínimos para su atención oportuna. Debido a la falta de datos y la dificultad de adquisición, este estudio proporciona una RN general para la clasificación de los pacientes. Este estudio facilitó la producción de pruebas analíticas rápidas y repetidas con la utilización de datos que nos permitieron verificar el rendimiento de los modelos. Se examinaron la red utilizando dos optimizadores el SGD y Adam, con las mismas entradas y salidas.

Se comprobó que el rendimiento de las redes, las dos diseñadas, proporcionan un buen modelo para la clasificación. Específicamente,

con el optimizador Adam, se produce la mejor bondad de ajuste ($R^2 = 0.999999913$) y el error de predicción más bajo ($MSE = 1.645122019e-08$).

No existe una regla para seleccionar el número de capas intermedias y el número de neuronas en las RN. La mejor manera de definir estos números es probando diferentes estructuras de modelos con diferentes números de intermedios hasta lograr un resultado que se ajuste a la realidad.

En el estudio, el desempeño de cada red se comprobó y la estructura utilizada contaba con el número mínimo de capas, seleccionando neuronas para evitar cualquier redundancia.

Los modelos presentados sirven como complementos para otros modelos basados en ecuaciones diferenciales o análisis estadísticos, sin intentar reemplazarlos.

REFERENCIAS

Berzal, F. (2019). Redes neuronales y Deep learning. España, Editorial Universidad de Granada.

Bishop, C. (1995). Neuronal networks for pattern recognition. Gran Bretaña, Oxford university Press.

Gulli, A., Kapoor, A. & Pal, S. (2019). Deep Learning with TensorFlow 2 and Keras: Regression, ConvNets, GANs, RNNs, NLP, and More with TensorFlow 2 and the Keras API. Gran Bretaña, Editorial Pack Publishing.

Michelen, M., Jones, N. & Stavropoulou, C. (2020). In patients of COVID-19, what are the symptoms and clinical features of mild and moderate cases? The Centre for Evidence-Based Medicine develops, promotes and disseminates better evidence for healthcare. [https://www.cebm.net/covid-19/in-patients-ofcovid-](https://www.cebm.net/covid-19/in-patients-ofcovid-19-what-are-the-symptoms-and-clinical-features-of-mild-and-moderate-case/)

[19- what- are- the- symptoms- and- clinical - features- of - mild- and-moderate-case/](https://www.cebm.net/covid-19/in-patients-ofcovid-19-what-are-the-symptoms-and-clinical-features-of-mild-and-moderate-case/)

Rosenblatt, F. (1960). Perceptron simulation experiments, Proceedings of the IRE, vol. 48, no. 3, pp. 301–309.

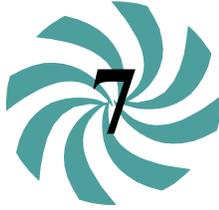
Tama, B. & Lim, S. (2020). A Comparative Performance Evaluation of Classification Algorithms for Clinical Decision Support Systems, Mathematics, vol. 8, no. 10, 1814.

Trujillo, J. (2020). Modelización de la predicción de riesgo de la dinámica de transmisión de la influenza en la provincia de panamá (tesis de postgrado). Universidad de Panamá, Panamá.

Recibido el 1 de abril de 2022

Aceptado el 30 de mayo de 2022

Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia



NOTA CORTA

INTENTO DE DEPREDACIÓN SOBRE EPTESICUS FURINALIS (FAMILIA: VESPERTILIONIDAE) POR PHYLLOSTOMUS DISCOLOR (FAMILIA: PHYLLOSTOMIDAE; SUBFAMILIA: PHYLLOSTOMINAE) EN LA REPÚBLICA DE PANAMÁ

Nelson Guevara. A^{1,2,3}, Melissa López¹ y María Morales^{1,4*}

¹Fundación Biomundi, Panamá.

²Colegio de Biólogos de Panamá (COBIOPA), Panamá.

³Centro de Investigación y Capacitación en Conservación de la Biodiversidad, Sociedad Mastozoológica de Panamá (SOMASPA), Panamá.

⁴Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Escuela de Biología, Orientación de Biología Animal, Panamá.

nelson2295@hotmail.com  melissa_dclg@hotmail.com 

mariiaisa14@gmail.com 

RESUMEN

Se reporta un evento de depredación entre las especies de murciélagos *Eptesicus furinalis* y *Phyllostomus discolor* en el este de Panamá. Evento que se registra mediante el método de redes de niebla en el proyecto de biodiversidad del Valle Mamóni. Este es el primer caso observado de *Phyllostomus discolor* depredando otro murciélago. Este registro contribuye al conocimiento sobre la dieta de los murciélagos en la relación depredador-presa para la región de Panamá.

PALABRAS CLAVES

Chiroptera, Depredación, Dieta, Presa, Red de niebla.

ATTEMPTED PREDATION ON EPTESICUS FURINALIS (FAMILY: VESPERTILIONIDAE) BY PHYLLOSTOMUS DISCOLOR (FAMILY: PHYLLOSTOMIDAE; SUBFAMILY: PHYLLOSTOMINAE) IN THE REPUBLIC OF PANAMA

ABSTRACT

A predation event between the bat species *Eptesicus furinalis* and *Phyllostomus discolor* in eastern Panama is reported. This event was recorded using the mist-nets method in the Mamóní Valley biodiversity project. This is the first observed case of *P. discolor* predating a bat. This record contributes to the knowledge about the diet of bats in the predator-prey relationship for the region of Panama.

KEY WORDS

Chiroptera, Diet, Mist net, Predation, Prey.

INTRODUCCIÓN

Los murciélagos poseen una gran variedad de hábitos alimenticios (Sélem et al. 2012). En particular, los pertenecientes a la familia Phyllostomidae, presentan una de las más diversas radiaciones evolutivas, la cual está representada por adaptaciones altamente especializadas (Quinto-Mosquera et al. 2013). Estas adaptaciones están relacionadas con las características morfológicas, sensoriales, locomotoras y funcionales de los murciélagos (Baker et al. 2012), lo que les permite ocupar una gran diversidad de gremios tróficos (Gardner 1977; Quinto-Mosquera et al. 2013).

En general, los gremios que pueden conformar los murciélagos agrupan a especies con similares dietas, conductas y hábitat de alimentación (Mancina 2011). En base a esto, se pueden dividir en forma general en: frugívoros, nectarívoros, insectívoros, hematófagos, piscívoros, carnívoros, y eventualmente pueden ser folívoros y saprófagos (Fauth et al. 1996; Patterson et al. 2003).

Diversos estudios, han demostrado que la subfamilia Phyllostominae es sensible a cierto grado de perturbación en los ecosistemas (Medellín et al. 2000; Garcés et al. 2001; Gamarra de Fox et al. 2019) lo cual se ha relacionado con el grado de especialización que estos murciélagos han alcanzado en cuanto a su dieta (algunos son exclusivamente carnívoros y otros recolectan insectos voladores de las hojas u otras superficies) (Medellín et al. 2000).

Sin embargo, algunas especies han tenido que recurrir a fuentes alternativas de alimento que estén disponible en las diversas épocas del año en las que sean escaso los recursos habituales (Sosa 2003), optando por un hábito alimenticio omnívoro, las especies omnívoras pueden consumir plantas, invertebrados o vertebrados pequeños, permitiendo así mantener el ciclo biológico de las especies (Pérez *et al.* 2012), como es el caso de *Phyllostomus discolor* y *Phylloderma stenops*, especies omnívoras que en ocasiones pueden depredar vertebrados más pequeños (Reid 2009; Kwiecinski 2006).

REGISTROS Y DISCUSIÓN

El 21 de septiembre de 2021 a las 19:45 horas, durante el proyecto de investigación sobre la riqueza, abundancia y ecología de fauna, flora y funga del Valle Mamoní, se observó como un ejemplar de *P. discolor* se acercó a la red y atacó un murciélago *E. furinalis* que se encontraba atrapado, siendo mordido entre el ala y el hombro, provocándole graves heridas (Figura 1). Sin embargo, al encontrarse sujetado por la red, el individuo de *P. discolor* no pudo hacerse de este, por lo cual lo soltó y voló aproximadamente dos metros en dirección de la red, quedando igualmente atrapado (Figura 2, Figura 3). Las medidas de largo de antebrazo (FA) y de masa corporal de estos murciélagos fueron las siguientes: *E. furinalis* FA=35 mm y MC=5.5 g, *P. discolor* FA=62 mm y MC=41 g.



Figura 1. Individuo de *Eptesicus furinalis*. Heridas provocadas por la mordida de *Phyllostomus discolor*. Círculo rojo= zona de penetración de colmillo.

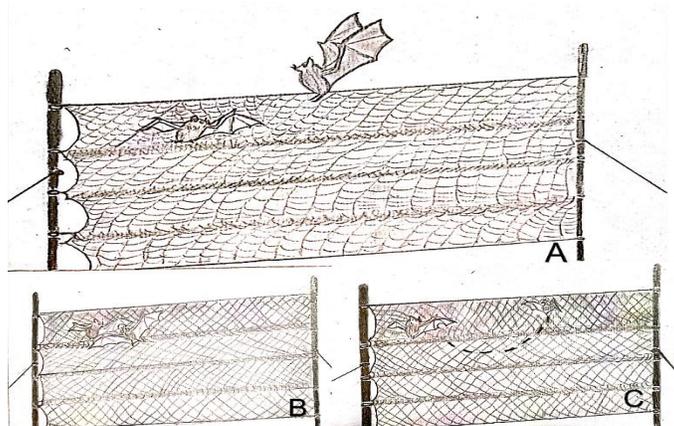


Figura 2. Dibujo interpretativo del evento. A: Individuo de *Eptesicus furinalis* atrapado en la red, llegada en vuelo de *Phyllostomus discolor*; B: Ataque sobre *E. furinalis* por *P. discolor*, mordida entre el ala y el hombro; C: Intento de depredación fallido, *P. discolor* intenta retirarse y queda atrapado en la red. Autor: María Morales.



Figura 3. Individuo de *Phyllostomus discolor* capturado en la red momento después del intento de depredación.

El evento se registró en los alrededores del colegio de la Comunidad de San José, Poblado de Madroño, Corregimiento de Las Margaritas, Distrito de Chepo, Provincia de Panamá (coordenadas GPS 9°18' 14" N,

78° 07' 47" W - elevación 175 msnm datum configuración WGS84). mediante el uso de tres redes de niebla de 12 x 2.5 m.

Se tiene conocimiento que otras especies de filostómidos como *Vampyrum spectrum* y *Chrotopterus auritus* son predominantemente carnívoras (Ferrarezzi & Gimenez 1996) que ocasionalmente se alimentan de otras especies de murciélagos más pequeñas (Reid 2009; Aguirre *et al.* 2010). Se ha reportado incluso la depredación sobre un individuo de la familia Vespertilionidae por *C. auritus* en Brasil (Witt & Fabián 2010). En cuanto al género *Phyllostomus* se sabe que como *Phyllostomus hastatus* pueden alimentarse de pequeños vertebrados como anfibios, aves y mamíferos; incluyendo murciélagos pequeños según las condiciones eventuales del hábitat (Ruschi 1953; Nogueira *et al.* 2007). Por lo tanto, probablemente otras especies del mismo género como *Phyllostomus discolor* pueden desarrollar este comportamiento depredador si las condiciones lo requieren.

En cuanto al evento observado, el ataque hacia *E. furinalis* sobre la red, tal vez ha sido percibido como una ocasión oportunista para *P. discolor* de obtener alimento de una forma sencilla. Este evento representa para nuestro conocimiento el primer caso de un intento de depredación de *Phyllostomus discolor* sobre otra especie murciélago, en este caso sobre la especie *Eptesicus furinalis*.

AGRADECIMIENTOS

A Jessica Ausinheiler por la comunicación y coordinación con la comunidad de San José de Madroño para la observación y estudio de murciélagos. A docentes y padres de familia del colegio San José de Madroño por el apoyo con instalaciones para el desarrollo del trabajo. A Fundación Geoversity por el apoyo con el guardado y transporte del equipo.

REFERENCIAS

Aguirre, L.F., Moya, M.I., Arteaga, L.L., Galarza, M.I., Vargas, M.A., Marquez, K.B., Peñaranda, D.A., Pérez-Zubieta, J.C., Terán, M.F. y Tarifa, T. (2010). Plan de acción para la conservación de los murciélagos amenazados de Bolivia. <http://murcielagosdebolivia.com/index.php/murcielagos-amenazados-de-bolivia>

Baker, R.J., Binindina-Emonds, O.R.P., Mantilla-Meluk, H., Porter, C.A. & Van Den Bussche. (2012). Molecular timescale of diversification of feeding strategy and morphology in New World leaf-nosed bats (Phyllostomidae): A phylogenetic perspective. In: Gunnell G.F, Simmons NB, editors. Cambridge University Press. USA. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139045599.012>

Fauth, J.E., Bernardo, J., Camara, M., Resetarits, W.J. & McCollum, S.A. (1996). Simplifying the jargón of community ecology: A conceptual Approach. *The American Naturalist* 147(2):282-286.

Ferrarezzi, H. & Gimenez, E.A. (1996). Systematic patterns and the evolution of feeding habits in Chiroptera (Archonta: Mammalia). *Journal Comparative Biology* 3:75-94.

Gamarra de Fox, I., Torres, M.E., Barreto, M.B. y Barrozo, N. (2009). Riqueza y variabilidad trófica de especies de murciélagos presentes en el Parque Nacional Ybycui y su zona de amortiguamiento. *Boletín del Museo Nacional de Historia Natural de Paraguay* 23(2):60-7. http://www.mades.gov.py/wpcontent/uploads/2019/10/BMNHNPY_23_02_20191007_60-77_Gamarra_Murcielagos.pdf

Garcés, P.A, Medina, C. y Montero, A. (2001). Estudio de las poblaciones de Chirópteros en el Campus Central de la Universidad de Panamá. *Tecnociencia* 3(2):7-20. <https://www.revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/546>

Gardner, A. L. (1977). Feeding habits. Pp. 293–350 in *Biology of bats of the New World family Phyllostomatidae. Part II* (R. J. Baker, J. K. Jones, Jr., and D. C. Carter, eds.). Special Publications 13, The Museum, Texas Tech University.

Kwiecek, G.G. (2006). *Phyllostomus discolor*, Mammalian species. Department of Biology University of Scranton, Pennsylvania. USA. Issue 801:1-11. <https://doi.org/10.1644/801.1>

Mancina, C.A. (2011). Introducción a los murciélagos. In: Borroto-Páez R, Mancina CA, editors. *UPC Prints Vaasa, Finlandia. Mamíferos de Cuba*. 123-133. https://www.researchgate.net/publication/285055803/_Introducci3n_a_los_murci3lagos

Medellín, R.A., Equihua, M. y Amin, M.A. (2000). Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in neotropical rainforest. *Conservation Biology* 14(6):1666-1675. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2000.99068>.

Nogueira, M.R., Peracchi, A.L. & Moratelli, R. (2007). Subfamilia Phyllostominae. En: dos Reis NR, Peracchi AL, Pedro WA, de Lima IP, editores. Biblioteca Central de Universidad Estadual de Londrina. Brazil.

Patterson, B.D., Willig, M.R. y Stevens, R.D. (2003). Trophic strategies, niche partitioning and patterns of ecology organization. In: Kunz TH, Fenton Mb, editors. *Bat Ecology*. University of Chicago Press. USA. p. 536-568.

Pérez, T.I., López-González, C. y Guerrero, J.A. (2012). Evaluación de la diversidad de Quirópteros en el paisaje terrestre protegido de Mesas de Moropotente. *Revista Científica-FAREM Estelí* 1(1):10-19. <https://repositorio.unan.edu.ni/6157/>

Quinto-Mosquera, J., Moreno-Amud, L.A., Mosquera-Mosquera, S., Mantilla-Meluk, H. y Jiménez-Ortega, A. (2013). Cambios en el ensamblaje de murciélagos filostomidos producto de la perturbación en el distrito Alto Atrato-San Juan, Chocó, Colombia. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo* 32(2):121-132. https://www.researchgate.net/publication/282325180_Cambios_en_el_ensamblaje_de_murcielagos_filostomidos_producto_de_la_perturbacion_en_el_distrito_alto_atrato-San_juan_Choco_Colombia

Reid, FA. (2009). *A field guide of the mammals of Central American & Southeast Mexico*. Oxford University Press, New York. USA.

Ruschi, A. (1953). Algumas observações sobre alimentação de quirópteros, *Phyllostomus hastatus hastatus* (Pallas); *Molossus rufus* E. Geoffroy, *Chrotopterus auritus* (Thomas) e *Noctilio leporinus leporinus* (Linnaeus). *Boletim do Museu de Biología Mello Leitão* 14:1-5.

Sélem-Salas, C.I., Tun-Garrido, J., Hernández-Betancourt, S., Chablé-Santos, J. y Ortiz-Díaz, J.J. (2012). Riqueza y abundancia de murciélagos (Mammalia-Chiroptera) en la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, Yucatán, México. *Bioagrobiencias* 5(1):11-14. <https://xdocs.pl/doc/quiropteros-selem-salas-2010-pdf-qnjxev67yw86>

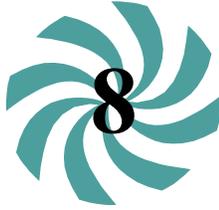
Sosa, J. (2003). Murciélagos: mamíferos voladores. Documentos de divulgación, Museo Nacional de Historia Natural y Antropología 6: 1-7. <https://www.mnhn.gub.uy/innovaportal/file/3419/1/Murcielagos.pdf>

Witt, A.A. y Fabián, M.E. (2010). Hábitos alimentares e uso de abrigos por *Chrotopterus auritus* (Chiroptera, Phyllostomidae). *Mastozoología Neotropical* 17(2):353-360. <https://www.redalyc.org/pdf/457/45717021009.pdf>

Recibido el 11 de abril de 2022

Aceptado el 25 de mayo de 2022

Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia



NIVELES SONOROS EN LA ZONA HOSPITALARIA DEL BARRIO LA EXPOSICIÓN - CIUDAD DE PANAMÁ.

Marisol Nicholson^{1,3}, Humberto Edward^{1,3}, Juan Cedeño^{2,3}, Alberto Caballero^{2,3}

¹Ministerio de Educación, Panamá, Panamá, marisolnicholson28@gmail.com 

²Universidad de Panamá, Laboratorio de Hidrología Isotópica y Geofísica Aplicada, Panamá, Panamá, juan.cedenoc@up.ac.pa 

³Universidad de Panamá, Departamento de Física, Panamá alcaba99@yahoo.com 
humberto.edwardh@up.ac.pa 

RESUMEN

El ruido es uno de los principales contaminantes que afecta la salud y calidad de vida de la población, principalmente de la urbe; por su constante crecimiento económico y desarrollo tecnológico. Panamá por sus características socioeconómicas es un país en desarrollo y este contaminante está afectando a la población, de manera crónica. Por ello, este estudio busca cuantificar la percepción de la población, mediante una encuesta y medir los niveles de presión sonora y su distribución espacial, en la zona hospitalaria del barrio La Exposición en la ciudad de Panamá. Revelando preliminarmente que el área de estudio se encuentra expuesta a niveles que sobrepasan los 65 dB, recomendados por la OMS, además, la encuesta hizo evidente la carencia de conocimientos generales del tema. Lo que permite recomendar a las autoridades competentes la necesidad de realizar una revisión a la aplicación y supervisión de las normas existentes en nuestro país, que facilite un mejor control a este contaminante.

PALABRAS CLAVES

Acústica, contaminación sonora, nivel sonoro, ciudad de Panamá

NOISE LEVELS IN THE HOSPITAL ZONE OF THE NEIGHBORHOOD OF LA EXPOSICIÓN - PANAMA CITY

ABSTRACT

Noise is one of the main pollutants affecting the health and quality of life of the population, in the city, due to its constant economic growth and technological development. Panama, due to its socioeconomic characteristics, is a developing country and this pollutant is chronically affecting the population. Therefore, this study seeks to quantify the perception of the population through a survey and to measure the sound pressure levels and their spatial distribution in the hospital area of La Exposition in Panama City. Preliminarily revealing that the study area is exposed to levels that exceed 65 dB, recommended by WHO, in addition, the survey made evident the lack of general knowledge on the subject. This allows us to recommend to the competent authorities the need to review the application and supervision of the existing norms in our country, to facilitate a better control of this pollutant.

KEY WORDS

Acoustics, noise pollution, sound level, Panama City

INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica (ruido) tiene un impacto negativo en la salud y calidad de vida de la población y al aumentar la urbanización sus niveles se incrementan. Se considera ruido a todo sonido no deseado y desagradable (Wang, et al., 2005; Diaz, 2018). Sin embargo, para corroborar la presencia del contaminante en un sitio determinado, es necesario medir los niveles sonoros del sitio de interés, para determinar el ambiente acústico (Ramírez & Domínguez 2011).

En Panamá se evidencia con los estudios de Corrales & Monte (1999), Villarreal et al. (2002) y Henríquez et al. (2018); que los niveles sonoros son superiores a los recomendados por la Unión Europea (UE,1996) y la Organización Mundial de la Salud (WHO,1999) de 65 db_A .

Dichos estudios, destacan un área de concentración de niveles altos de ruido, en el Corregimiento de Calidonia del Distrito de Panamá, específicamente el Barrio La Exposición, considerada nuestra zona de estudio (Figura 1). Esta zona incluye instituciones de salud, oficinas estatales y centros educativos, que pueden experimentar afectaciones en la rehabilitación de los pacientes, el desempeño de la comunidad

educativa, su personal administrativo y de salud (Berglund et al 1999, Basner et al 2014 y Basner & McGuire 2018).

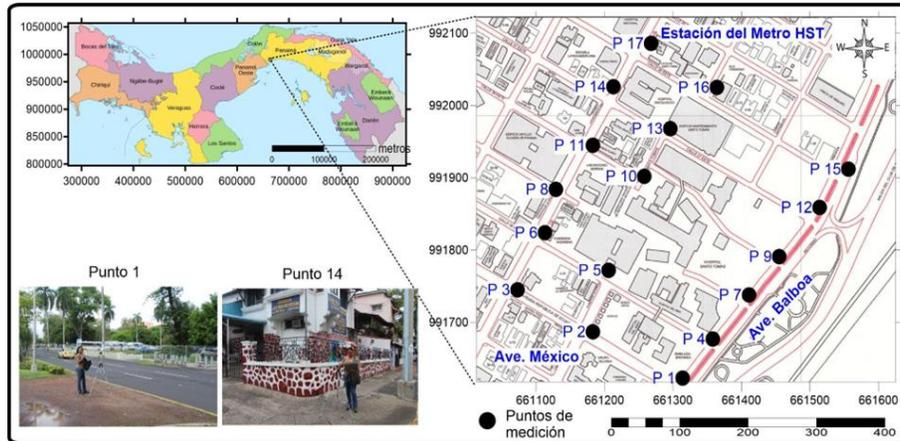


Figura 1. Mapa del área de estudio denominada Zona Hospitalaria del Barrio La Exposición del Corregimiento de Calidonia.

Este estudio tiene como objetivos: medir los niveles de presión sonora, visualizar su distribución espacial y comparar los resultados con los estudios previos, para evidenciar preliminarmente, la presencia del contaminante en la zona hospitalaria de La Exposición.

MEDICIÓN DEL SONIDO Y RUIDO AMBIENTAL

El oído humano es el órgano responsable de percibir las vibraciones o variaciones de presión (sonido), transformarlas y transmitir las al cerebro, donde son interpretadas (Hume et al., 2012; Lam de Calvo, 2009; Magriña, 1991; Ninomiya, 2008).

Normas como la UNE-ISO (2005) y del Gobierno Vasco (2005) recomiendan medir el ruido comunitario, utilizando el nivel de presión sonora equivalente (L_{eq}), en dB_A , el cual se define (Flores y Castillo,

2012; Mosser y Barros, 2009; Recuero López, 1999), como: “el nivel de presión sonora constante; expresado en dB_A , que contiene la misma

energía total, que el ruido medido en el periodo estudiado” y lo expresan matemáticamente de la siguiente forma:

$$L_{eq, T} = 10 \log \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \right) \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{Lp(t)}{10}} dt \quad [1]$$

Dónde:

$L_{eq, T}$: Nivel sonoro equivalente en un intervalo tiempo y se mide en dB_A

$Lp(t)$: El nivel de exposición sonora de cada suceso,

t_1 : El tiempo inicial de medición,

t_2 : El tiempo final de medición.

Rangos de ruido recomendados

La UE (1996) clasifica los valores de niveles de ruido en $L_{eq,A}$ en periodo diurno y los perjuicios que causan a la salud, que se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación del ruido. Fuente: UE (1986)

Niveles (dB_A)	El Ruido Causa
55 - 60	Molestia
60 - 65	La molestia aumenta considerablemente
Por encima de 65	Surgen perturbaciones en el comportamiento, sintomáticas del daño grave causado por el ruido.

Un compendio de las normativas que regulan el ruido en Panamá se presenta en la tabla 2:

Tabla 2. Comparaciones de las normativas panameñas vigentes en leyes, decretos y resoluciones. Fuentes: MICI (1999); MINSA (2002, 2004); MINGOB (2006); Decreto 4113 de 2006

No. Ley.	No. Decreto y resolución	Emisor	Ruido en horario <i>dB</i> A	Observaciones
Ley No. 66. Del 10 de noviembre de 1947		Asamblea Nacional		Artículo 88: "Dictar las medidas tendientes a evitar o suprimir las molestias públicas, como ruidos, olores desagradables, humos, gases tóxicos, etc."
Ley No. 41 Del 1 de julio de 1998		Asamblea Nacional		Para que a través del Órgano Ejecutivo reglamente las Auditorías Ambientales y los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA's).
	No. 306 de 4 de sept de 2002	Ministerio de Salud	Diurno 55 <i>dB</i> Nocturno 50 <i>dB</i>	Diurno (6:00 a.m. a 9:59 p.m.) Nocturno (10:00 p.m. a 5:59 a.m.)
	No. 1 de 15 de enero de 2004	Ministerio de Salud	Diurno 60 <i>dB</i> Nocturno 50 <i>dB</i>	Diurno (6:00 a.m. a 9:59 p.m.) Nocturno (10:00 p.m. a 5:59 a.m.)
	No. 640, de 27 de diciembre de 2006	Ministerio de Gobierno y Justicia		Artículo 12. Prohibiciones en relación con los vehículos en general, en el numeral: f. la emisión de gases, ruidos o sonidos excesivos. Artículo 132. Está prohibido a los conductores de vehículos: numeral: s. conducir con volumen excesivo en el equipo de sonido.
	No. 506 del 6 de octubre de 1999,	Ministerio de Comercio e Industria	85 <i>dB</i> en la jornada de 8 horas	Ofrece los niveles permisibles de exposición en una jornada de trabajo de máximo ocho (8) horas diarias
	No. 4113, 26 de junio de 2006.	Municipio de Panamá	60 <i>dB</i>	Se fundamenta en el Decreto Ejecutivo No. 1 de 15 de enero de 2004, del Ministerio de Salud, que determinó para las áreas residenciales e industriales el nivel sonoro máximo, así como el horario.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Esta investigación se desarrolló en base a las recomendaciones de las normas ISO (1996) y su actualización UNE-ISO (2005). Además, desarrolló y aplicó una encuesta (anexos) a una muestra de 200 transeúntes, para cuantificar la percepción ciudadana de la contaminación acústica y sus efectos.

Para la adquisición de datos se utilizó el sonómetro clase II, Sound Level Meter PCE 322-A, con su trípode de 1,5 m de altura, un filtro de atenuación A (ponderación A), con una precisión de $\pm 1,4$ dB y el dispositivo de navegación por satélite Etrex 10 Garmin, para georeferenciar los 17 puntos.

La captura de datos se desarrolló en tres jornadas, de lunes a viernes (mañana 6:00 a 8:00 a.m., tarde 12:00 a 2:00 p.m. y noche 7:00 a 9:00 p.m.).

El intervalo de medición en cada punto era de *3 minutos*, en el mismo lugar y a la misma hora, del periodo determinado, tomadas en tiempo real, en respuesta lenta o “slow”.

A partir de los valores discretos obtenidos, se determinó el nivel sonoro equivalente (ecuación 1), para cada punto de estudio en las diferentes jornadas.

Las condiciones meteorológicas fueron proporcionadas por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA, 2016), utilizando La Estación Tocumen AAC (estación tipo A, automática) y La Estación Miraflores CA (estación tipo C, automática), que comprenden el área metropolitana de la Ciudad de Panamá.

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE NIVELES DE SONIDO

A partir de estos resultados en la medición de niveles sonoros y los promedios en los diferentes puntos, para cada jornada (Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5), se elaboraron mapas de contorno, que describen la distribución espacial de los niveles sonoros existentes, en las condiciones sonoras propias del sitio de estudio en el periodo de las mediciones del 9 al 27 de mayo de 2016.

Tabla3. Niveles Sonoros Equivalentes obtenidos en el horario de la mañana; durante el periodo de mediciones.

Datos del Horario matutino (de 6:00 a.m. a 8:00 a.m.)										
Puntos	Mayo de 2016									
	9	10	11	12	13	23	24	25	26	27
	Leq (dBA)									
1	77	80	81	76	75	75	75	75	79	79
2	66	67	66	67	67	64	71	67	69	67
3	68	66	70	91	66	67	66	70	66	67
4	75	75	75	73	78	73	78	73	75	75
5	62	62	64	61	62	64	63	64	64	65
6	68	68	72	68	74	66	68	70	69	68
7	73	73	75	74	78	72	73	74	76	73
8		68	68	71	71	69	68	73	67	67
9	75	74	74	74	73	74	75	74	73	75
10	67	66	64	63	69	64	63	63	63	69
11	69	70	67	67	71	68	67	71	67	73
12		78	78	75	77	79	76	78	78	78
13	69	65	63	69	67	63	67	65	67	63
14		70	66	66	68	68	72	70	68	65
15		77	78	78	79	78	80	78	79	81
16	63	66	63	64	66		64	66	63	64
17	68	67	68	66	68	68	62	65	64	64
Obs.	Los puntos donde no existe medición se deben a diversos factores como automóviles mal estacionados, trabajos de mantenimiento y error sistemático. Identificando como principales fuentes de ruido el tráfico vehicular específicamente en autobuses conocidos como diablos rojos y los tipos coster, ya que a estos le modifican el sistema de escape al frenar.									

Tabla 4. Niveles Sonoros Equivalentes obtenidos en el horario de la mañana; durante el periodo de mediciones.

Datos de la tarde (de 12:00 m.d. a 2:00 p.m.)							
Puntos	Mayo de 2016						
	9	11	12	23	24	26	27
Leq (dBA)							
1	70.7	72.5	69.5	74.3		74.2	74.7
2	66.4	69.3	68.0	66.7		65.2	65.7
3	66.6	68.9	69.4	70.7	65.2	63.3	66.8
4	79.5	74.9	74.0	77.0	76.2	78.1	79.8
5	60.9	66.4	61.4	64.8		62.3	62.8
6	67.7	76.2	69.2	73.1	64.5	62.1	63.8
7	72.9	71.0	71.8	71.9		75.3	73.1
8		68.9	65.5	68.5	73.9	67.2	64.2
9	72.8	71.2	71.8	72.6	68.2	79.2	74.0
10	70.2	64.5	69.9	70.3		71.6	66.0
11	68.9	68.5	69.9	69.1	69.4	64.9	67.4
12	73.4	75.1	75.2	76.1		80.9	74.7
13	60.9	65.2		63.8		62.3	62.5
14	66.5	69.9		71.4	69.9	66.4	64.4
15	78.8	76.9	78.9	77.2	78.7	77.8	80.1
16	61.9	63.0	70.7	65.9		66.7	64.7
17	66.8	67.4	77.5	68.6	69.9		66.3
Obs.	En el horario vespertino o de la tarde, se dio la mayor incidencia de lluvia; como también se encontraron automóviles mal estacionados, interfiriendo con el punto de medición . Identificando como principales fuentes de ruido el tráfico vehicular específicamente en autobuses conocidos como diablos rojos y los tipos coaster, ya que a estos le modifican el sistema de escape al frenar o acelerar.						

Tabla 5. Niveles Sonoros Equivalentes obtenidos en el horario de la tarde; durante el periodo de mediciones.

Datos de la noche (de 7:00 p.m. a 9:00 p.m.)									
Puntos	Mayo de 2016								
	9	10	11	12	13	23	24	25	27
	Leq (dBA)								
1	74.1	75.2	71.0	77.9	72.2	72.8	72.0	73.6	73.7
2	67.1	65.0	63.9	64.0	61.8	65.0	64.9	69.4	65.0
3	65.3	64.9	67.4	66.8	64.7	68.9	63.9	66.1	68.8
4	72.2	76.6	74.8	74.7	80.9	71.5	75.7	76.8	76.9
5	59.7	60.5	59.4	61.8	62.3	65.5	63.1	59.7	68.4
6	65.2	63.2	63.1	68.6	66.2	67.5	67.5	66.4	67.4
7	70.1	79.5	72.4	71.4	72.2	74.3	72.0	73.1	74.2
8	68.1	70.4	66.6	70.5	67.3	67.8	67.4	67.3	66.8
9	73.5	73.5	73.3	74.0	73.9	74.4	73.3	73.2	75.0
10	58.1	57.6	59.4	59.8	62.8	62.3	62.7	57.8	65.4
11	64.5	64.4	67.2	66.8	64.2	68.5	65.6	65.6	65.7
12	74.6	74.0	72.9	75.2	73.9	73.9	77.3	75.1	77.4
13	55.6	52.8	54.0	53.3	56.9	53.5	54.2	58.9	53.2
14	63.4	63.9	62.8	64.2	63.0	66.2	64.3	68.6	67.2
15	74.3	76.6	76.6	76.3	75.2	75.6	75.3	76.4	77.3
16	57.8	59.4	58.1	56.4	59.2	71.7	55.8	63.8	66.1
17	63.7	71.0	66.4	63.8	65.2	67.3	69.7	64.7	67.5
Obs.	En el horario nocturno, se dio una noche de lluvia el día 26, siendo la causa de la suspensión de las mediciones. Identificando como principales fuentes de ruido el tráfico vehicular específicamente en autobuses conocidos como diablos rojos y los tipos coaster, ya que a estos le modifican el sistema de escape al frenar o acelerar.								

RESULTADO DE LA ENCUESTA

Los resultados de la encuesta aplicada se presentan en la Tabla 6

Tabla 6. Respuestas a las preguntas de la encuesta.

Pregunta	Valor Obtenido	Pregunta	Valor Obtenido
Sexo		¿Sabe usted a qué se le denomina Contaminación Sonora?	
Femenino	113	Si	163
Masculino	87	No	37
Edad		¿Piensas que la contaminación sonora afecta tu salud?	
>18	81	Si	157
19 – 25	20	No	43
26 – 30	28	¿Conoces cuáles son los efectos que produce la contaminación sonora a la salud?	
31 – 50	36	Si	107
>51	30	No	93
Dejo en Blanco	5	¿Conoce las leyes o normativas que regula, la contaminación sonora en Panamá?	
Escolaridad de los Encuestados		Si	28
Primaria	20	No	172
Premedia	53	¿Conoces los niveles de sonido o ruido, permitidos para que este no afecte su salud?	
Media	78	Si	62
Universidad	42	No	138
Dejo en Blanco	7	¿Has tenido información por medio sistema educativo panameño (colegios oficiales o particulares) que haya realizado alguna campaña de sensibilización o proyectos educativos, sobre la contaminación sonora?	
¿En cuál o cuáles asignatura (s) te enseñaron que es la contaminación sonora? Escriba en el espacio, aun cuando su respuesta sea ninguna o no dieron el tema		Si	35
Ninguna/ no dieron el tema	77	No	165
Ciencias Naturales	59	¿Conoce el instrumento utilizado para la medición de ruido o sonido?	
Fisica	17	Si	60
Otros	12	No	140
Dejo en Blanco	35	¿Crees que el uso de los auriculares como los mp3, teléfonos inteligentes, entre otros; pueden ser contaminantes sonoros para la persona que lo utiliza?	
¿Según el sistema internacional de medidas, sabe cuál es la unidad utilizada, para el sonido?		Si	162
Si	66	No	38
No	134	¿Sabe dónde poner su queja, si el sonido o ruido es excesivo?	
¿Sabe dónde poner su queja, si el sonido o ruido es excesivo?		Si	54
Si	54	No	146
No	146		

La población encuestada corresponde a estudiantes, moradores y profesionales del área de estudio.

La escolaridad de la muestra es: 10% nivel primario, 26% premedia, 39% medio, 21% universidad completa y un 4% no contestó.

El 56 % de los encuestados son del sexo femenino y 44 % masculino.

El 81% de los encuestados aceptó conocer la contaminación sonora, el 67% desconoce los efectos del contaminante a la salud, el 86% no conoce la normativa o leyes que regulan la contaminación sonora en Panamá y el 73% desconoce dónde debe acudir a denunciar en caso de afectaciones.

ANALISIS

Con los datos obtenidos se generó un mapa de ruido (Valdez, 2014) para la zona objeto de estudio que aparece en la figura 2. Se observa, que a pesar de ser esta una zona donde hay varios hospitales, los niveles de ruido no se mantienen dentro de los valores recomendados a nivel nacional e internacional.

Algunas excepciones se encuentran en el área central, específicamente en la periferia de los hospitales o nosocomios.

Igualmente, se evidencia las zonas de mayor afectación, próximas a las carreteras, indicativo que el contaminante en la zona, es el tráfico rodado.

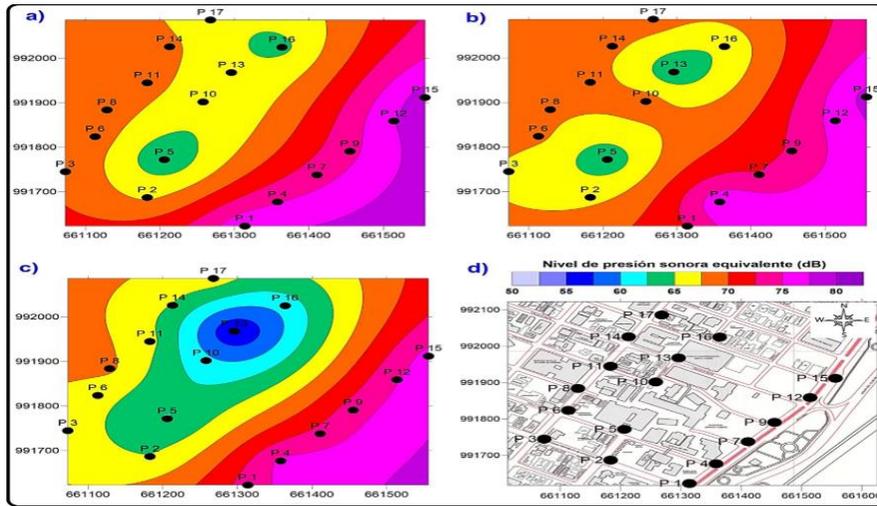


Figura 2: Mapa de ruido de los promedios de los niveles sonoros equivalentes en las tres jornadas: a) Jornada diurna, b) jornada vespertina, c) jornada nocturna, d) puntos de estudio y escala de colores utilizada.

Al comparar los resultados obtenidos con los del estudio de Villarreal et al. (2003), se observa valores de L_{eq} muy cercanos, en las periferias del punto 9, Hospital del Niño (ver tabla 7) y el punto 17, Hospital Nacional (ver tabla 8).

Tabla 7. Contraste de nuestras medidas en el punto 9 con las de Villarreal et al. (2003).

Día	a.m.		m.d.		p.m.	
	2003		2003		2003	
Lunes	73.0	73.1	75.0	72.9	73.0	71.1
Martes	72.0	73.1	75.0		73.0	79.5
Miércoles	72.0	74.5	75.0	71.0	73.0	72.4
Jueves	72.0	73.5	74.0	71.8	74.0	71.4
Viernes	73.0	78.1	75.0		74.0	72.2

Tabla 8. Contraste de nuestras medidas en el punto 17 con las de Villareal et al. (2003).

Día	a.m.		m.d.		p.m.	
	2002		2002		2002	
Lunes	68	68.1	72	66.8	69	63.7
Martes	65	66.5	73		64	71
Miércoles	68	68.1	72	67.4	66	66.4
Jueves	67	66.2	70	77.5	66	63.8
Viernes	65	68.3	73		66	65.2

CONCLUSIONES

Las mediciones de los niveles de presión sonora realizados en la zona permiten la evaluación global de la exposición a la contaminación acústica, los valores encontrados sobrepasan la normativa de la WHO y están relacionados principalmente al tráfico en la zona.

Los mapas de ruido desarrollados permiten identificar el contaminante, inferir la fuente principal y que desde el ámbito institucional se desarrollen planes para su control efectivo, la unificación y actualización de las normas, salvaguardando la salud pública.

El convenio de las normativas presentado (tabla 2) evidencia las limitaciones y ausencia de controles en el tema. También la carencia de unanimidad de criterios, valores permitidos según jornada, ponderaciones, aunado a que los niveles sonoros reglamentados no se actualizan desde el 2004.

Este estudio preliminar, espera despertar el interés a estudios de investigaciones, apegados a los estándares internacionales, de forma que sus resultados describen la situación acústica, y permitan una comparación bajo los mismos parámetros, tal y como lo establecen las normas (ISO).

Basados en la encuesta, podemos señalar que la población de estudio carece de nociones básicas sobre el contaminante, sus afectaciones a la salud y las normativas legales existentes, para su regulación.

Finalmente, se recomienda realizar campañas de sensibilización del tema a nivel nacional, capacitando a la población sobre las causas, efectos y posibles medidas preventivas ante la contaminación acústica.

REFERENCIAS

Basner, M. y McGuire, S. (2018). WHO environmental noise guidelines for the European region: a systematic review on environmental noise and effects on sleep. *International journal of environmental research and public health*.

Basner, M., Babisch, W., Davis, A., Brink, M., Clark, C., Janssen, S., y Stansfeld, S. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The lancet*, 383(9925), 1325-1332.

Berglund, Birgitta, Lindvall, Thomas, Schwela, Dietrich H & World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. (1999). Guidelines for community noise. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>

Lam de Calvo, O. (2009). Fisiología del sistema nervioso. Universal Books, ciudad de Panamá, Panamá. 120 pp.

COITT (Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos). (2008). Libro blanco sobre los efectos del ruido ambiental en la sociedad y su percepción por parte de la ciudadanía Madrid, España. https://www2.coitt.es/res/publicoitt/2008_04_09_Libro_blanco_sobre_el_ruido.pdf

Corrales, A. & Montes, A. (1999). Muestreo de los niveles de ruido en las avenidas más transitadas de la región metropolitana de Panamá. Panamá. Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Mecánica (tesis).

Decreto 4113 de 2006. Deroga el Decreto 395 de julio de 1992 y si dictan nuevas disposiciones, dirigidas a regular la emisión de ruidos en la ciudad de Panamá. 26 de Junio del 2006. D.M. No. 4113.

Diaz, C. R. (2018). An Improvement Project to Increase HCAHPS Quiet Scores and Improve the Patient Sleep Experience by Implementing Bundled Care and Other Clinical Strategies (Doctoral dissertation, California State University, Bakersfield).

Empresa de Transmision Electrica, S.A. (2016). Hidrometeorología ETESA, Panamá., <http://www.hidromet.com.pa/index.php>

Flores Castro, E., & Castillo Arrieta, M. (2012). La contaminación acústica. Imprenta Articsa, Panamá, Panamá, 110 pp.

Gobierno Vasco. (2005). Guía metodológica para la realización de mapas de ruido. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Euskadi, España.

Henríquez, F., Quintero, J., & De Frias, E. (2018). Uso de modelos matemáticos para el cálculo de ruido en las principales avenidas de Panamá. *Revista De Iniciación Científica*, 4(2), 49-56.

Hume, K. I., Brink, M., & Basner, M. (2012). Effects of environmental noise on sleep. *Noise and Health*, 14(61), 297.

ISO. (1996). International Standard. Acoustics — Description, measurement, and assessment of environmental noise

Ley 41 de 1998. Ministerio de Ambiente. 1 de julio de 1998. Panamá, Panamá

Ley 66 de 1947. Del código sanitario. 10 de noviembre de 1947. Panamá, Panamá

Magriña, C. (1991). La Sordera. Emeká Editores, colección "Dígame, doctor", nº 9, Barcelona, España, 220 pp.

MICI (1999). Resolución No. 506, de 6 de octubre de 1999. Panamá.

MINGOB (2006). DECRETO EJECUTIVO No. 640, del 27 de diciembre del 2006. Ministerio de Gobierno y Justicia Panamá.

MINSA (2002). DECRETO EJECUTIVO No. 306, de 4 de septiembre de 2002. Panamá.

MINSA (2004). DECRETO EJECUTIVO NO. 1, de 15 de enero de 2004. Panamá, Panamá.

Henríquez, F. Escobar, P., Melquisedec; S. Rodríguez C. (2007). Monitoreo de la contaminación acústica en sitios críticos de Panamá. Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Mecánica. Panamá, Panamá

Moreno García, M. S. (2013). Gestión técnica del ruido en una industria farmacéutica e implementación inicial de medidas de prevención y control. Universidad Internacional SEK Ecuador. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/799>

Mosser, M. y Barros, J. L. (2009). Ingeniería Acústica: Teoría y aplicaciones, 2da Edición. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Alemania.

Ninomiya, J. (1991). Fisiología humana: neurofisiología. Manual Moderno. México DF., México, 529 pp.

OMS (1999). Berglund, B. Lindvall, T. Schwela, D editores. Guías para el ruido urbano. Ginebra, Suiza. <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/965/course/section/1090/Guias%20para%20el%20ruido%20urbano.pdf>

Ramírez González, A., Domínguez Calle, E. A. (2011). El ruido vehicular urbano: problemática agobiante de los países en vías de desarrollo. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35(137), 509-530.

Recuero López, M. (1999). Ingeniería Acústica. Ediciones Paraninfo, Madrid, España, 696 pp

UNE-ISO, 1.-1. (2005). Acústica. descripción medición y evaluación del ruido ambiental: Parte I. Ginebra, Suiza.

Valdés, F. (2014). Hacia una definición de los indicadores de la calidad sonora del ambiente exterior y su aplicación al SIG, casos: el ensanche de Barcelona y Vilnius. Expresión Gráfica Arquitectónica I , Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) Tesis Doctoral. Barcelona, España, <https://www.tesisenred.net/handle/10803/285016#page=1>

Villarreal, Y. Castillo, M., Muñoz, A., Toral, J., Flores, E (2003). Nivel de ruido en la ciudad de Panamá. *Tecnociencia* 5, 2, 97-108.

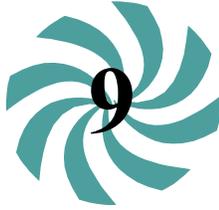
Wang, L. K., Pereira, N. C., y Hung, Y. T. (Eds.). (2005). Handbook of Environmental Engineering, Vol. 2. Advanced Air and Noise Pollution Control. Humana Press. Totowa, N. J. Estados Unidos de América. 526 pp.

WHO. (2011). Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe. World Health Organization. Regional Office for Europe.

Recibido el 28 de abril de 2022

Aceptado el 1 de junio de 2022

Editor Responsable: Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia



PROSPECCIÓN ENDOPARASITOLÓGICA EN SIETE ESPECIES DE VIPÉRIDOS EN CAUTIVERIO, PANAMÁ.

Elisabet R. Cunningham Sánchez¹, Nivia J. Ríos-Carrera^{1,2}, Marcelo, Mack², Víctor Martínez-Cortés²

¹ Universidad de Panamá, Departamento de Microbiología y Parasitología, Escuela de Biología. cunninghanelizabeth@gmail.com  toxogondii@gmail.com 

² Universidad de Panamá, Centro para Investigaciones y Respuestas en Ofidiología (CEREO), Escuela de Biología. marmack24@gmail.com  pvmartinez@gmail.com 

RESUMEN

Estudios de animales silvestres en cautiverio muestran que estos pueden albergar diversos grupos parasitarios que pueden afectar su salud. En la presente investigación se examinó el material fecal de 26 serpientes de la familia Viperidae, mantenidas en cautiverio en el CEREO, Universidad de Panamá, aplicando las siguientes técnicas: Concentración Parasitaria (Ritchie y Willis Moloy), Recuento y Confirmación de helmintos (Kato Kats), y tinciones de Ziehl Neelsen, y Giemsa, para confirmación de especies de coccidios y hematozoarios respectivamente; con la finalidad de determinar los parásitos de los sistemas digestivos y sanguíneos que estos especímenes albergaban.

Los resultados revelan que 92% (24/26) de la población presenta alguna forma (estadio) parasitario. La composición de la diversidad parasítica que exhiben los ejemplares positivos está conformada por *Entamoeba hartmanni* 46.2% (12/26); *Enteromonas*, y *Balantidium*, ambos con 26.9% (7/26); *Strongyloides*, *Chilomastix*, *Cyclospora*, y *Oxyurus* 23.1% (6/26); *Uncinaria* e *Hymenolepis nana* 19.2% (5/26); *Hymenolepis diminuta*, y *Entamoeba invadens* 15.4% (4/26); *Trichostrongylus* 11.5% (3/26); *Retortamonas* 7.7% (2/26); *Porocephalus*, *Eimeria*, *Giardia*, *Isospora*, y *Cryptosporidium* 3.8% (1/26).

PALABRAS CLAVES

serpientes, vipéridos, enteroparásitos, comensal, hemoparásitos.

ENDOPARASITOLOGICAL PROSPECTION IN SEVEN SPECIES OF VIPERIDS IN CAPTIVITY, PANAMA.

ABSTRACT

Studies of wild animals in captivity show that they can harbor various parasitic groups that can affect their health. In the present investigation, the fecal material of 26 snakes of the Viperidae family, kept in captivity at the CEREO, University of Panama, were examined by applying the following techniques: Parasite Concentration (Ritchie and Willis Moloy), Helminth Count and Confirmation (Kato Kats) and Ziehl Neelsen and Giemsa stains, for confirmation of coccidial and hematozoan species respectively; to determine the digestive and blood parasites that these specimens harbored.

The results revealed that 92% (24/26) of the population had some form (stage) of parasites. The composition of parasitic diversity exhibited by the positive specimens consisted of *Entamoeba hartmanni* 46.2% (12/26); *Enteromonas* and *Balantidium*, both with 26.9% (7/26); *Strongyloides*, *Chilomastix*, *Cyclospora* and *Oxyurus* 23.1% (6/26); *Uncinaria* and *Hymenolepis nana* 19.2% (5/26); *Hymenolepis diminuta* and *Entamoeba invadens* 15.4% (4/26); *Trichostrongylus* 11.5% (3/26); *Retortamonas* 7.7% (2/26); *Porocephalus*, *Eimeria*, *Giardia*, *Isospora* and *Cryptosporidium* 3.8% (1/26).

Blood analysis shows that 50% (6/12) of the population is infected by some species of hematozoa, with the *Trypanosoma* and *Hepatozoon* genera being the most prevalent with 16.7% (2/12), followed by *Haemogregarina*, *Leucocytozoon* and *Plasmodium* with 8.3% (1/12).

KEY WORDS

snakes, viperids, endoarasites, hemoparasites, commensals.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los animales alberga una o varias especies de parásitos con cientos o miles de especímenes (Quiroz, 1990); y en la mayoría de los casos en que animales silvestres son llevados al cautiverio, éstos mantienen los parásitos obtenidos en su estado libre mismos que bajo condiciones como el estrés pueden volverse patógenos y ocasionar la muerte del hospedero (Arrojo, 2002); tal como ha sido reportado en algunos casos en los cuales los parásitos gastrointestinales son causa frecuente de morbilidad y mortalidad (Sánchez, Tantaleán, Richards & Gálvez, 2004).

Estudios previos registran este suceso, como el realizado por Bursey & Brooks (2011) en serpientes de Costa Rica, post mortem, donde reportan una nueva especie de nemátodo y nuevos hospederos para varias especies pertenecientes a este grupo. También en el Estado de Morelos-México, se analizaron diferentes colecciones de reptiles mantenidos en cautiverio, siendo los parásitos con mayor frecuencia, nematodos de la familia Oxyuridae presentes en el 88.46%, seguido de los estróngilos en 7.69% y anquilostoma (Uncinarias) en el 3.8%. A pesar de ser el grupo de parásitos con mayor frecuencia diagnosticado en reptiles la información sobre su diversidad taxonómica es escasa en la literatura, lo que dificulta su identificación exacta (García, 2013).

En 2014 Terán, Estrada & Puente, en Ecuador, analizaron serpientes *Bothrops asper* y *Bothrops atrox* que murieron en cautiverio, señalando que los parásitos más prevalentes fueron los coccidios y nemátodos. Otros trabajos en reptiles realizado en Lima, Perú, confirma que estos organismos son portadores de varias especies de parásitos, incluyendo especies con potencial zoonótico (Chávez, Serrano, Tantaleán, Quispe & Casas, 2015).

Recientemente en 2020, otro estudio realizado en Colombia revela que el 65% de la población estudiada esta parasitada, aportando a su vez información valiosa para el conocimiento de los parásitos en este grupo de animales (Duran, Franco, Riva, & Flórez, 2020).

En Panamá los estudios previos en parásitos de reptiles estaban enfocados principalmente en lagartijas e iguanas verdes, con la finalidad de comparar la diversidad parasitaria entre iguanas verdes silvestres y en cautiverio, donde se reportan géneros como *Oxyuris*, *Strongyloides*, *Trichuris* y *Capillaria* (Franco, 2006).

El Centro para Investigaciones y Respuestas en Ofidiología de la Universidad de Panamá (CEREO), inicia investigaciones en este ámbito en el 2010, empleando ejemplares solo de *Bothrops asper* (Mack &

Urriola, 2010), incluyendo en años posteriores otras especies de serpientes venenosas como *Bothriechis schlegelii*, *Lachesis stenophrys*, *Porthidium lansbergii*, *Cerrophidium sasai* (*C. godmani*), *Metlapilcoatlus (Atropoides) mexicanus*, incluso serpientes no venenosas como pitones, boas, y colúbridos, procedentes de diversas regiones de nuestro país (García, 2011; Pérez, 2012; Vásquez, 2017; *Tecnociencia*, Vol. 24, N°2

Quintero, 2021). Esto ha permitido conocer la gran variedad y cantidad de parásitos digestivos y sanguíneos que se encuentran usualmente en este grupo de reptiles, y aunque falta mucho por comprender de la totalidad de los eventos que dan origen a las parasitosis en el medio silvestre, y la dinámica que se desarrolla en ecosistemas de Panamá. Estos hallazgos aportarán datos importantes para la comprensión de las parasitosis en este grupo de animales. La presente investigación tiene la finalidad de aportar información sobre los endoparásitos gastrointestinales y sanguíneos prevalentes en serpientes ingresadas los últimos años al CEREO.

MATERIALES Y MÉTODOS

A. Muestras

Para el estudio se analizaron 26 ejemplares de serpientes que se encontraban en cautiverio en el CEREO de la Universidad de Panamá, las cuales procedían de diferentes áreas del país, la información referente a estos se detalla en el Figura 1 y Cuadro 1.

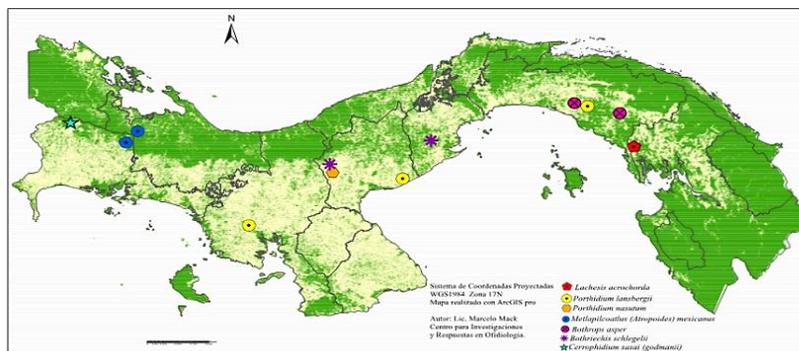


Figura 1. Zonas de captura de vipéridos utilizados en la investigación. Zonas de Captura (Primer dígito = zona, segundo dígito = provincia). Zona 1 = Bocas del Toro, la vertiente del Caribe en Veraguas, Colón, Guna Yala y Darién. Zona 2 = Chiriquí y vertiente del Pacífico en Veraguas. Zona 3 = Los Santos, Herrera y Coclé. Zona 4 = Panamá y Darién. Zona 5 = Territorio insular. PN = Parque Nacional. (Ríos, Vásquez & Martínez, 2017)

Cuadro 1. Información referente a serpientes estudiadas

N = Número del ejemplar. Lc = Lugar de colecta. Lt= Longitud del total. S= Sexo. PN= Parque Nacional

Especie	N	Ingreso	Lc	Peso (g)	Lt (cm)	S
<i>Atropoides mexicanus</i>	268	22/2/2010	Bocas del Toro	1300	-	-
	277	22/2/2010	Bocas del Toro	1450	-	-
	336	28/1/2011	Chiriquí	710	57	-
	337	28/1/2011	Chiriquí	810	62	H
	338	-	-	800	55	-
<i>Bothrops asper</i>	403	12/5/2014	Chinina, Panamá	440	-	-
	404	12/5/2014	Chinina, Panamá	210	-	-
	462	-	Chinina, Panamá	-	-	-
	463	23/1/2015	Tortí, Panamá	640	-	-
<i>Bothriechis schlegelii</i>	399	24/3/2014	PN Altos de Campana, Panamá Oeste	99.13	-	-
	455	28/9/2014	El Copé, Coclé	14.78	-	-
<i>Cerrophidium sasai</i>	124	2007	Cerro Punta, Chiriquí	101.88	52.1	H
	125	2007	Cerro Punta, Chiriquí	63.59	-	-
<i>Lachesis acrochorda</i>	486	1/5/2015	Nacida en el CEREO, Panamá	-	-	-
	487	1/5/2015	Nacida en el CEREO, Panamá	135.9	47.2	H
	488	1/5/2015	Nacida en el CEREO, Panamá	142.6	46.5	-
	489	1/5/2015	Nacida en el CEREO, Panamá	140.8	46.5	-
	490	1/5/2015	Nacida en el CEREO, Panamá	122.7	43.5	-
	491	1/5/2015	Nacida en el CEREO, Panamá	144.5	46	-
	492	1/5/2015	Nacida en el CEREO, Panamá	136.5	45.4	H
	495	4/5/2015	Nacida en el CEREO, Panamá	130.4	42.5	H
<i>Porthidium lansbergii</i>	405	12/5/2014	Chinina, Panamá	34.91	-	-
	406	12/5/2014	Chinina, Panamá	33.15	-	-
	456	22/10/2014	Soná, Veraguas	146.79	-	H
	497	13/6/2015	Río Hato, Coclé	24.25	-	-
<i>Porthidium nasutum</i>	433	11/8/2014	La Rica, Coclé	35.34	-	M

B. Limpieza y preparación de las cajas

Dependiendo del tamaño de las serpientes se seleccionaron cajas plásticas con pequeños orificios para la aireación, las cuales fueron lavadas con solución de hipoclorito de sodio, agua y jabón, luego secadas con papel toalla; se le colocó dentro papel periódico forrado en la parte superior con papel aluminio del cual fueron recogidas las deposiciones sin que se contaminaran. Por último, se le colocó bebederos conforme a la necesidad del animal.

C. Colecta de muestras de heces

Las deposiciones fueron colocadas en viales de tapa roscas acorde a la cantidad de materia fecal, una vez dentro fueron preservadas con formalina al 7% homogenizando las muestras. Siendo estas almacenadas bajo condiciones idóneas para su posterior análisis.

D. Colecta de muestras de sangre

Se desinfectó con alcohol al 70% el área de la cola en donde está ubicada la vena caudal, luego con jeringuilla 0.5 mL se realizó punción para extraer la sangre. En algunas ocasiones fue preciso emplear capilares debido a la escasa cantidad de sangre extraída; posteriormente se realizaron extendidos sanguíneos para su tinción y observación al microscopio (Leica OPTO-EDU A12.0907, Aumento 100x).

E. Análisis coproparasitológico de las muestras

E.1. Montaje directo

Se colocó una gota de Lugol sobre un portaobjeto y sobre éste una pequeña gota de la muestra de heces. Luego se colocó un cubreobjeto evitando formar burbujas y se procedió a observar al microscopio (Leica OPTO-EDU A12.0907, Aumento 10x y 40x) para el reporte de las formas parasitarias presentes.

E.2. concentración por flotación: Técnica de Willis Molloy

Se mezcla 1 gramo de material fecal con 10 mL de una solución de Cloruro de sodio sobresaturada, con densidad aproximada de 1.180, homogenizándola con un vortex. Para su posterior fraccionamiento en 3 tubos de ensayos, a éstos se le añadió más solución saturada hasta que formara un menisco invertido. Pasado 5-8 minutos se colocó sobre un portaobjeto con solución de Lugol y se observó al microscopio (De la Ossa Merlano *et al.*, 2007).

E.3. Concentración por sedimentación: Técnica de Ritchie modificado (Formol-Éter)

Se filtraron alrededor de 10 mL de materia fecal preservada en formalina al 7-10%; el material filtrado se colectó en un tubo punta cónica de vidrio. Luego se centrifugó 1000 rpm durante 15 minutos y se decantó el sobrenadante cuidadosamente.

El sedimento obtenido fue resuspendido en solución salina fisiológica. Se volvió a centrifugar bajo las mismas condiciones y se decantó el sobrenadante nuevamente. El sedimento obtenido se resuspende en 10 mL de formalina al 10% y se le añaden 3 mL de éter, homogenizándolo vigorosamente durante 15 o 20 segundos y centrifugándolo a 1000 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante fue descartado y al sedimento obtenido se revisó por montaje directo, para el reporte de las formas parasitarias presentes (Olivas, 2004).

E.4. Método de Kato Katz

Se colocó sobre un portaobjeto aproximadamente de 60 a 70 mg de heces y sobre este una lámina de papel celofán el cual previamente había sido colocado en solución de Kato por varios días, se dejó reposar durante 30 o 45 minutos a que clarificara a temperatura ambiente para su posterior análisis microscópico (Puerta & Vicente, 2015).

E.5. Tinciones

E.5.1 Ziehl Neelsen modificada

Se realizó un extendido del material fecal sobre un portaobjeto, dejándolo secar a temperatura ambiente y fijándolo posteriormente por 10 minutos con metanol.

Luego se aplicó carbol fucsina concentrada y se calentó por unos 5 minutos para coloración de los ooquistes de esporozoos presentes; aclarándola con agua del grifo, realizándole luego una decoloración con ácido sulfúrico al 7% por 15 segundos y finalmente aplicando el colorante de contraste, azul de metileno, por 2 minutos; se dejó secar a temperatura ambiente para luego ser observada la placa al microscopio (Olivas, 2004).

E.5.2 Giemsa

Se realizó un extendido sanguíneo y se procedió a fijar las muestras con metanol por 10 minutos. Después, se les aplicó colorante Giemsa por 10 minutos y se lavaron con agua del grifo. Posteriormente se observaron al microscopio para el reporte de los hematozoarios presentes (García, Fernández & Paredes, 1994).

Análisis estadístico

Se efectuó un análisis estadístico descriptivo, empleando gráficos y cuadros elaborados en EXCEL, los cuales permitieron describir los

hallazgos parasitológicos encontrados en esta investigación y la obtención de información relevante en cuanto al estado parasitológico de las serpientes que se encuentran en el CEREO.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis parasitológico realizado a las heces de 26 ejemplares de serpientes revela que el 92% (24/26) de la población está parasitada.

Estos resultados podemos considerarlos bastante acertados si los comparamos con los obtenidos por Sánchez *et al.* (2004), Souza *et al.* (2014), y Duran, Franco, Riva & Flórez (2020) en Colombia, los cuales indicaron porcentajes de parasitosis por encima del 50% de la población estudiada, aproximándonos en esta investigación y en las realizadas años anteriores en el CEREO, mostrando así, que gran parte de los individuos de las poblaciones de serpientes silvestre albergan diversos parásitos.

La prevalencia (Figura 2) y composición del espectro parasitológico que presentan las heces de estos animales (Figura 3), nos permite concluir que el mayor porcentaje lo exhibe *Entamoeba hartmanni* presente en el 46.2% (12/26) de la población; seguido por *Enteromonas* y *Balantidium*, ambos con 26.9% (7/26). Otros parásitos encontrados en menor porcentaje dentro de las muestras analizadas fueron: *Strongyloides*, *Chilomastix*, *Cyclospora* y *Oxyurus* quienes estaban presente en 23.1% (6/26) de la población; *Uncinaria* e *Hymenolepis nana* en un 19.2% (5/26), *Hymenolepis diminuta* y *Entamoeba invadens* en 15.4% (4/26), *Trichostrongylus* 11.5% (3/26), *Retortamonas* en 7.7% (2/26), mientras que *Porocephalus*, *Eimeria*, *Giardia*, *Isoospora*, y *Cryptosporidium* fueron observados en un 3.8% (1/26) (Figura 4a, b, c).

Nuestros resultados confirman los estudios realizados anteriormente en serpientes de Panamá (Mack & Urriola, 2010; García, 2011; Pérez, 2012; Ríos, Vásquez & Martínez, 2017; Quintero, Ríos, Mack & Martínez 2021), los cuales revelan los mismos géneros encontrados. Sin embargo, algunos de estos estudios identifican parásitos y comensales

no reportados en esta investigación como: *Entamoeba coli*, *Diphylidium*, *Capillaria*, *Ascaris*, *Toxocara*, *Ophidascaris*, *Kalicephalus*, *Cariospora*, *Pentatrichomona*, *Tenia* y *Trichurus*; por lo cual podríamos considerar que algunos endoparásitos van

Tecnociencia, Vol. 24, N°2 110

desapareciendo a lo largo de la estadía de los vipéridos en su cuarentena, por diversos factores como aislamiento, dieta, ausencia de otros hospederos, entre otros factores.

En cuanto a los porcentajes de parasitosis por zonas de procedencia de los ejemplares, las zonas 1 y 2 muestran que el 100% de la población estaba parasitada. Otras zonas presentan 67% y 94 % de positividad, como las zonas 3 y 4 respectivamente (Figura 1). En todas las zonas se encontraron porcentajes elevados de parasitosis dentro de la población, sin embargo, Rahman *et al.* (2014), Khatun *et al.* (2014), y Adegbulu *et al.* (2015) mencionan que la condición geográfica de la zona en la cual se encuentren estos animales puede influir en el porcentaje de parasitación y los parásitos que estos posean. Incluso Lynch (2012) expresa en su estudio que las serpientes más vulnerables a las infecciones parasitarias son las que ocupan los hábitats terrestres como *Bothrops jararaca*, *Crotalus durissus terrificus*, y *Chironius exoletus*, por su estilo de vida y por habitar áreas agrícolas y ciudades, están más expuestas a los patógenos que circulan en el ambiente.

En el análisis de las muestras de sangre los resultados indican que el 50% (6/12) de la población analizada, presenta parásitos sanguíneos. Los géneros de hemoparásitos más prevalentes en los vipéridos estudiados son *Trypanosoma*, y *Hepatozoon* con 16.7% (2/12), y *Haemogregarina*, *Leucocytozoon*, y *Plasmodium* con 8.3% (1/12) (Figura 4d, e y f). En la literatura se reporta el género *Hepatozoon* en más de 200 especies de serpientes (Levine, 1988), ya que son consideradas las hemogregarinas más frecuentes en estos hospederos (Smith, 1996; Jacobson, 2007; Telford, 2009).

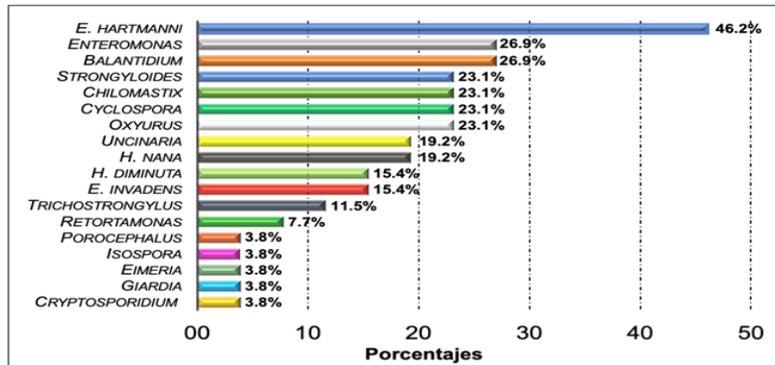


Figura 2. Prevalencia parasitaria en vipéridos estudiados.

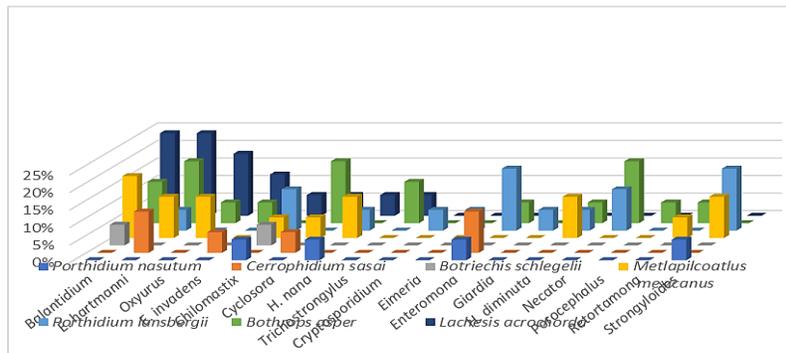


Figura 3. Espectro parasitario por especie de vipérido estudiada.

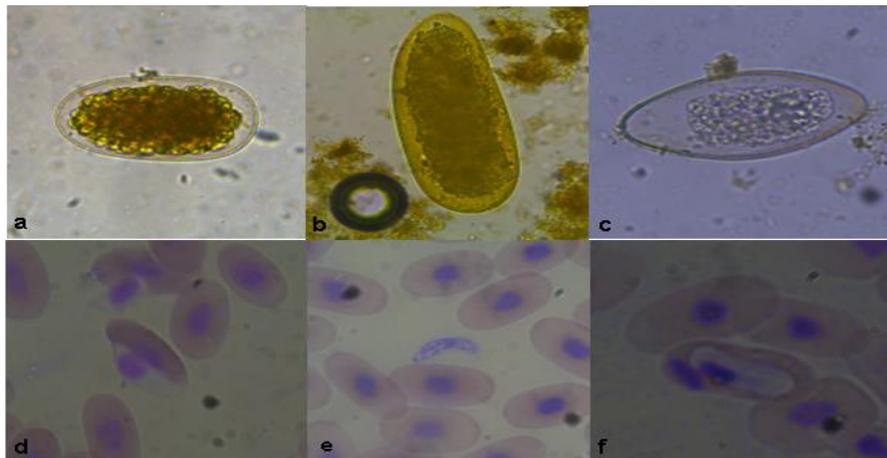


Figura 4. Estadios parasitarios en materia fecal y sangre de vipéridos a. *Uncinaria*, b. *Trichostrongylus*, c. *Oxyurus*, d. *Hepatozoon*, e. *Plasmodium*, f. *Haemogregarina*.

Cuadro 2. Prevalencia parasitaria en serpientes estudiada. Hn= *Hymenolepis nana* Hd= *Hymenolepis diminuta* St= *Strongyloides* Ba= *Balantidium* Ox= *Oxyurus* Eh= *Entamoeba hartmanni* Cy= *Cyclospora* Ch= *Chilomastix* Re= *Retortamona* Un= *Uncinaria* Tr= *Trichostrongylus* En= *Enteromonas* Ein= *Entamoeba invadens* Po= *Porocephalus* Is= *Isospora* C= *Cryptosporidium* Ei= *Eimeria* Gi= *Giardia* Try= *Trypanosoma* He= *Hepatozoon* Le= *Leucocytozoon* Pl= *Plasmodium* Ha= Haemogregarina N= Número del ejemplar NP= No se encontraron formas parasitarias NR= Análisis no realizado

Especie	N	Enteroparásitos	Hemoparásitos
<i>Atropoides mexicanus</i>	268	Hn, Hd y St	Try
	277	Hn, Hd y St	NR
	336	Ba, Ox, Eh y Cy	He
	337	Ch y Re	NR
	338	Ba, Ox, Eh	NR
<i>Bothrops asper</i>	403	Ba, Ox, Eh, Cy, Hd y Un	Try, Le,
	404	Tr, Eh, En, Un y Re	NR
	462	Eh, Cy y Ein	NR
	463	Tr, Cy, Un y Po	Pl
<i>Bothriechis schlegelii</i>	399	Ch	Ha
	455	NP	NR
<i>Cerrophidium sasai</i>	124	Eh y En	He
	125	Eh, Cy, Ein y En	NR
<i>Lachesis acrochorda</i>	486	NP	NR
	487	Ba, Ox y Tr	NP
	488	Eh	NR
	489	Ba y Ox	NR
	490	Ba, Ox, Eh, Hn, Cy, Is y Ein	NR
	491	Eh	NR
	492	Ba, Eh y Ein	NP
	495	Ch	NP
<i>Porthidium lansbergii</i>	405	Hn, Hd, St y En	NP
	406	Eh, Ch, En y Un	NR
	456	Ch, St, En, Un, Cr y Gi	NP
	497	St y Ei	NR
<i>Porthidium nasutum</i>	433	Hn, Ch, St y En	NP

CONCLUSIONES

El 92% de la población de serpientes en cautiverio analizadas en el CEREO se encuentran parasitadas.

Los géneros de parásitos reportados más prevalentes fueron: *Entamoeba hartmanni* (46.2%); *Enteromonas* y *Balantidium* (26.9%); *Strongyloides*, *Chilomastix*, *Cyclospora* y *Oxyurus* (23.1%); *Uncinaria* e *Hymenolepis nana* (19.2%); *Hymenolepis diminuta*, y *Entamoeba invadens* (15.4%); *Trichostrongylus* (11.5%); *Retortamonas* (7.7%); *Porocephalus*, *Eimeria*, *Giardia*, *Isospora*, y *Cryptosporidium* (3.8%); los cuales hacen un total de 18 géneros de parásitos distintos. Todas las zonas de procedencia de los animales estudiados presentan índices de parasitosis por encima del 50%.

El 50% de la población analizada presentó hemoparásitos; reportándose *Trypanosoma* y *Hepatozoon* en un 16.7% y *Haemogregarina*, *Leucocytozoon*, y *Plasmodium* (8.3%); siendo los géneros *Trypanosoma* y *Hepatozoon* los de mayor prevalencia en los vipéridos analizados.

BIBLIOGRAFÍA

Adegbulu, Y.T., Mogaji, H.O., Oluwole, A.S., Alabi, O. M. Adeniran, A.A., y Ekpo, U.F.. (2015). A Preliminary Survey of Gastrointestinal Parasites of Animals in Federal University of Agriculture Abeokuta Zoological Park, Ogun State, Nigeria. *Journal of Biology, Agriculture and Health care*, 5 (11): 195-202.

Arrojo, L. (2002). Parásitos de animales silvestres en cautiverio en Lima, Perú. *Rev. Perú Biol.* 9(2): 118-120.

Chávez, L., Serrano, E., Tantaleán, M., Quispe, M., y Casas, G. (2015). Parásitos Gastrointestinales en Reptiles en Cautiverio en Lima Metropolitana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 26(1): 127–134. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i1.10909>

De la Ossa Merlano, N., Falconar, A., Llinás, H., y Romero, C. (2007). Manifestaciones clínicas y factores de riesgo asociados a la infección por *Cryptosporidium* en pacientes de Barranquilla y tres municipios del Atlántico (Colombia). *Revista Salud Uninorte*, 23(1): 19-31.

Duran, N., Franco, M., Riva, H., y Flórez, J. (2020). Prevalencia de endoparásitos gastrointestinales y ectoparásitos en serpientes ex situ en Barranquilla, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 25(1), 68-75. Epub June 02, 2021. <https://doi.org/10.21897/rmvz.1537>

Franco, E. (2006). Incidencia de Endoparásitos en Iguanas Verdes Silvestres y en Cautiverio. Tesis de Grado, Universidad de Panamá. 39pp.

García, P., Fernández, M., y Paredes, F. (1994). *Microbiología clínica práctica* (2da. Ed.). Editor Servicio Publicaciones UCA. 482pp.

García, V. (2013). Frecuencia de parásitos de reptiles en cautiverio en diferentes colecciones del estado de Morelos. Tesis de Grado. Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Cuernavaca, México. 75pp.

García, D. (2011). Parásitos en los digestivos y sanguíneos de 2 géneros de boas, 1 *Python regius* y 15 colúbridos mantenidos en la Cuarentena del Centro para Investigaciones y Respuestas en Ofidiología (CEREO). Tesis de Grado, Universidad de Panamá. 41pp.

Jacobson, E. R. (2007). *Infectious diseases and pathology of reptiles* (1ra. ed.). CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 736pp.

Khatun, M., Begum, N., Mamun, N., Mondal, M., y Shakif-Ul-Azam, M. (2014). Coprological study of gastrointestinal parasites of captive animals at Rangpur Recreational Garden and Zoo in Bangladesh. *Journal of Threatened Taxa*, 6(8): 6142–6147. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.11609/JoTT.o3093.6142-7>

Levine N. D. (1988). *The protozoan phylum Apicomplexa*, vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 224pp.

Lynch, J. D. (2012). El contexto de las serpientes de Colombia con un análisis de las amenazas en contra de su conservación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 36(140): 435-449. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S037039082012000300009&script=sci_arttext

- Olivas, E. (2004). Manual de Practicas de Microbiología I y II y Parasitología. (1ra. ed.). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México. 105pp.
- Pérez, T. (2012). Endoparasitismo digestivo en 6 especies de vipéridos mantenidas en el CEREO. Escuela de Biología. Tesis de Grado, Universidad de Panamá. 79pp.
- Puerta, I. y Vicente, M. (2015). Parasitología en el laboratorio: Guía básica de diagnóstico. Editor 3Ciencias. 126pp.
- Quintero, I., Ríos, N. Mack, M. y Martínez, V. (2021). Endoparásitos en cuatro especies de vipéridos provenientes de la concesión minera “Cobre Panamá”. *Tecnociencia*, 23(1), 160-179.
- Quiroz, H. R. (1990). Parasitología y enfermedades parasitarias de animales domésticos, 1ra ed. Editorial Limusa. 876pp.
- Radhakrishnan, S., Kurup, S. P., y Banerjee, P. S. (2009). Endoparasitism in Captive Wild-Caught Snakes Indigenous to Kerala, India S. *Zoo Biology* 28(3): 253–258.
- Rahman, S., A. Dey, U. Kundu, & N. Begum. (2014). Investigation of gastrointestinal parasites of herbivores at Dhaka National Zoological Garden of Bangladesh. *Bangladesh Agricultural University*. 12(1): 79–85.
- Sánchez, N., M. Tantaleán, R. Richards y H. Gálvez. (2004). Parásitos helmintos en boa constrictor, *Epicrates cenchria* y *Corallus caninus* (Ophidia: Boidae) criadas en cautiverio. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 15(2): 166-169.
- Smith, T. G. (1996). The genus *Hepatoozon* (Apicomplexa: Adeleina). *Journal of Parasitology*, 82(4): 565–585.
- Lima de Souza, J., da Silva Barbosa, A., Prado Vazon, A., Antunes Uchôa, C. M.; Coronato Nunes, B., Bandeira Vianna Cortez, M., Laurentino da Silva, V., Brazil Más, L., Melgarejo, A. R., Machado Pereira Bastos, O. (2014). Parasitological and immunological diagnoses from feces of captive-bred snakes at Vital Brazil Institute. *Braz. J. Vet. Parasitol., Jaboticabal*, 23(2): 123-128. ISSN 1984-2961. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-29612014032>

Telford, S. R. JR. (2009). Hemoparasites of the Reptilia: Color atlas and text. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida. 394pp.

Urriola, Y. y Mack, M. (2010). Parasitismo digestivo y sanguíneo en las *Bothrops asper* ingresadas a la Cuarentena para ofidios en la Universidad de Panamá. Tesis de Grado, Universidad de Panamá. 110 pp.

Ríos, N., Vásquez, H. y Martínez, V. (2017). Protozoos gastrointestinales en *Bothrops asper* (Viperidae) mantenidas en el Centro para Investigaciones y Respuestas en Ofidiología (CEREO). Escuela de Biología, Universidad de Panamá. *Tecnociencia*, 19(1), 160-118.

Recibido el 8 de febrero de 2022

Aceptado el 7 de junio de 2022

Editor responsable: Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia



IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA ELECTROQUÍMICA DE BAJO COSTO PARA EL ANÁLISIS DE DIAZINON EN SUELO

Irene Castillero Rosales¹, Denis Vega Montenegro¹

¹Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá

irenecastillero@gmail.com  denisines04ve@gmail.com 

RESUMEN

Se implementó, por primera vez en la Universidad de Panamá, una metodología para la extracción de residuos de plaguicidas en suelos a través de la extracción asistida por sonicación en columnas pequeñas (SAESC), metodología novedosa, rápida y verde, ya que en su aplicación se reduce el tiempo de análisis contra técnicas clásicas de hasta un 92 % y el consumo de solventes en un 98 %. Se evaluó la técnica de extracción multiresiduo con la técnica clásica de cromatografía de gases para confirmar la eficiencia de la extracción. Se demuestra que la técnica es capaz de extraer cuantitativamente analitos en la modalidad multiresiduos.

Se ha realizado una caracterización preliminar del Diazinon a través de la técnica de Voltametría Cíclica y se obtienen los primeros análisis de Diaconan en suelos panameños mediante técnicas electroanalíticas. El método desarrollado es capaz de detectar 0,2 mg/L y de cuantificar Diazinon en cantidades de hasta 0,3 mg/L.

PALABRAS CLAVES

Potenciometría, Diazinon, suelo, electroquímica, multiresiduo

IMPLEMENTATION OF A LOW-COST ELECTROCHEMICAL METHODOLOGY FOR THE ANALYSIS OF DIAZINON IN SOIL

ABSTRACT

For the first time at the University of Panama, a methodology was implemented for the extraction of pesticide residues in soils through extraction assisted by sonication in small columns (SAESC), a novel, fast and green methodology, since in its application Analysis time is reduced compared to classical techniques by up to 92% and solvent consumption by 98%. The multi-residue extraction technique was evaluated with the classical gas chromatography technique to confirm the extraction efficiency. It is shown that the technique is capable of quantitatively extracting analytes in the multiresidue mode.

KEY WORDS

Potentiometry, Diazinon, soil, multiresidue, electrochemistry

INTRODUCCIÓN

El Diazinon es un insecticida organofosforado inhibidor de la enzima Acetilcolinesterasa (AChE). Es muy soluble en compuestos poco polares. Se descompone fácilmente si se encuentra expuesto a la luz, sin embargo, en suelos puede estar biológicamente disponible hasta por seis meses y hasta 184 días en aguas subterráneas; es relativamente tóxico y una vez en el organismo es oxidado rápidamente a Diazoxón, cuya capacidad de inhibición de AChE es mucho mayor y en donde puede permanecer hasta 12 horas, lo que podría desencadenar efectos tóxicos agudos por exposiciones elevadas en un corto tiempo, o efectos crónicos por exposición prolongada en el tiempo (Eisler, 2000)

En Panamá este plaguicida es aplicado comúnmente en las plantaciones de Piña para contrarrestar la cochinilla harinosa (*Dysmicoccus brevipies*) y el Talador de la fruta (*Tecla echion*).

Se han utilizado diversas técnicas analíticas para el análisis de plaguicidas, entre los cuales se encuentran la fluorimetría, electroforesis capilar, espectrofotometría, espectroscopia de masas y principalmente cromatografía líquida o de gases. Estas técnicas son muy eficientes, pero se limitan a un gran espacio de laboratorio, consumen mucho tiempo y tienen elevados costos. Durante muchos años se ha implementado dispositivos para medir plaguicidas por técnicas electroquímicas y actualmente han ganado interés por su sensibilidad y economía

(Lazarević-Pašti et al., 2013) y la posibilidad de simplificar la metodología analítica o reduciendo el proceso de limpieza (“clean-up”), lo que conduce a métodos más rápidos. Así mismo requieren una instrumentación más sencilla y por consiguiente un menor costo.

La matriz suelo es compleja, requiere de ciertas facilidades y tiene muchas limitantes como lo es una extracción cuantitativa del plaguicida en la matriz, la rápida degradación que sufren estas sustancias una vez extraídas, la reproducibilidad y la sensibilidad de la metodología utilizada (Moreno Fri et al., 2001)

Por ello el desarrollo de nuevas metodologías juega un papel muy importante para la detección de bajos niveles de concentraciones de residuos de contaminantes, las técnicas electroanalíticas representan una alternativa barata, sencilla y rápida para el análisis de plaguicidas, asegurando que el uso de estos químicos que protegen a los cultivos no produzca daños al ambiente ni a la población.

El objetivo de esta investigación es desarrollar una metodología electroquímica con un potenciostato portátil de bajo costo que hace uso de electrodos serigrafiados, que posee un sistema de tres electrodos insertos dentro de una superficie que puede ser de PVC, policarbonato, cerámica o incluso papel. Los electrodos serigrafiados han aportado grandemente en el desarrollo de metodologías analíticas ya que han permitido la miniaturización de los sistemas de análisis, abaratando costos y haciendo más prácticas las técnicas electroanalíticas (Lourenço AS et al., 2014). Se implementará una técnica de extracción de diazinon en suelo novedosa desarrollada por el Departamento de Medio Ambiente, INIA en Madrid, España, el cual reduce el tiempo de extracción tradicional de aproximadamente 4 horas a sólo minutos. Y se compararán los resultados con la técnica tradicional de cromatografía de gases acoplada a un detector de nitrógeno y fósforo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Reactivos y disolventes

Todos los reactivos utilizados son de elevada pureza para el estudio de trazas. De la casa Sigma Aldrich se obtuvo el estándar de referencia de

Diazinon y los otros plaguicidas analizados por cromatografía fueron preparados a partir de estándares de la casa Dr. Ehrenstorfer. Acetato de Etilo grado cromatográfico; las sales para los buffers y el sulfato de sodio anhidro de la casa J.T. Baker. Se prepararon soluciones madres de los estándares de plaguicidas y a partir de estas se prepararon disoluciones de trabajo de 50 mg/L.

Equipos

Se requirió cristalería variada, baño ultrasónico, balanzas, cartuchos de polipropileno de 20 mL, papel filtro Whatman #1, manifold, vortex. Para el análisis cromatográfico se utilizó un Cromatógrafo de gases con detector de Nitrógeno y Fósforo marca Agilent 6890. Los estudios electroquímicos se llevaron a cabo en el 910 Pstat-mini marca Metrohm con electrodos serigrafiados de Oro y de Carbono.

Muestreo

Las muestras fueron tomadas en la Finca Verba Odrec S.A. ubicada en el Espino de la Chorrera (figura 1) finca de propiedad privada que colabora en los proyectos de investigación de plaguicidas del MIDA.

El tipo de muestreo que se utilizó fue aleatorio estratificado, la división del terreno se realizó en base a los horizontes del suelo (Figura 2: loma, media loma y bajo). Esto garantiza que los puntos de muestreo se encuentren repartidos más uniformemente en toda la zona, en función al tamaño del estrato y permite además conocer de forma independiente las características particulares de cada estrato (Mason, 1992).

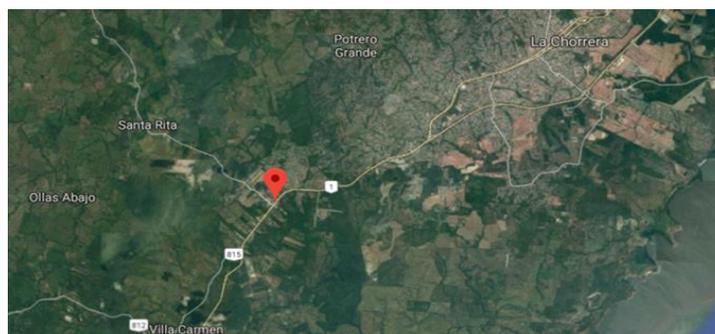


Figura 1. Ubicación geográfica del Espino de la Chorrera, finca Verba Odrec

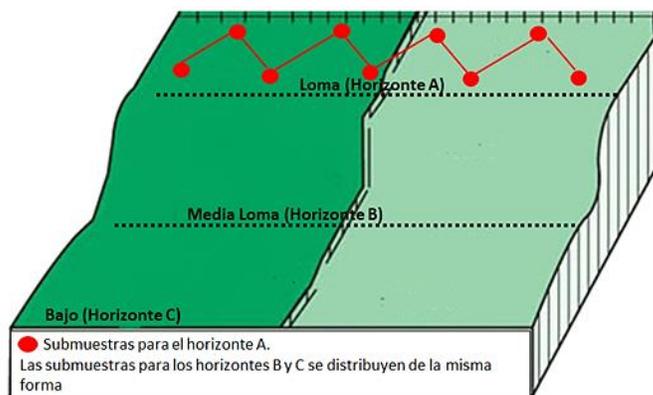


Figura 9. Distribución de submuestras en el terreno de muestreo

La toma de muestra se realizó a 20 cm de profundidad, que refleja la deposición de contaminantes transportados por aire o depositados recientemente, y se llevó de acuerdo con el protocolo de muestreo de la EPA 8041A.

Tratamiento de la muestra

Se implementó la técnica de extracción en pequeñas columnas asistida por ultrasonido (SAESC, por sus siglas en inglés) descrita brevemente a continuación: se toma 5 g de suelo previamente tamizado y se coloca en un cartucho de polipropileno de 20 mL que contiene 2 g de Na_2SO_4 anhidro, separados por papel filtro Whatman #1. Se ajusta una llave de teflón al cartucho para controlar el paso de solvente. Se añade 5 mL de acetato de Etilo y se lleva a baño ultrasónico por 15 min a temperatura controlada (no mayor a 30°C). El extracto se pasa por un manifold que permite colectarlo en un tubo cónico graduado que luego se lleva a casi sequedad y se afora a 2 mL con Acetato de Etilo. Este extracto está listo para ser analizado por cromatografía o por técnicas electroquímicas.

Estudio electroquímico

Se utilizó la técnica de voltametría cíclica para identificar el comportamiento electroquímico del plaguicida Diazinon y la

voltimetría de pulso diferencial (DPV) para su identificación en las muestras, cada lectura se realizó en presencia de buffer BR 0,1 M pH = 6 en una celda de 50 mL, las curvas de calibración de cuatro puntos se realizaron por el método de adición de estándar y corresponden a las siguientes concentraciones: C1= 0,35 mg/L; C2= 0,45 mg/L; C3=0,55 mg/L; C4=0,65 mg/L; respectivamente. Se evaluaron parámetros estadísticos sobre la curva de calibración en matriz para establecer límite de detección al 90% (LD 90 %), límite de cuantificación al 90 % (LQ (90 %)), y el coeficiente de variación del método CV de acuerdo con los parámetros de la Eurachem.

Estudio Cromatográfico

Paralelamente a las determinaciones de Diazinon por el método electroquímico, se realizaron las determinaciones por la técnica GC-NPD, con el objetivo de evaluar la metodología electroanalítica y establecer un análisis multiresiduo con esta técnica analítica. Se realizaron curvas de calibración por el método de patrón interno en un rango de concentración de 0,1 a 2,0 mg/L.

RESULTADOS

Estudio Electroquímico

Para establecer los puntos de oxidación y/o reducción de la molécula de Diazinon se realizaron ensayos por Voltametría Cíclica y se evaluaron las respuestas de los electrodos de oro y de carbono, resultando el electrodo con mayor intensidad de corriente promedio en las diferentes velocidades estudiadas el electrodo de oro (Gráfico 1). El electrodo de carbono no presenta lecturas estables al repetir las corridas y se observa que la señal va decayendo, aunque se aumente la concentración del Diazinon. (Gráfico 2).

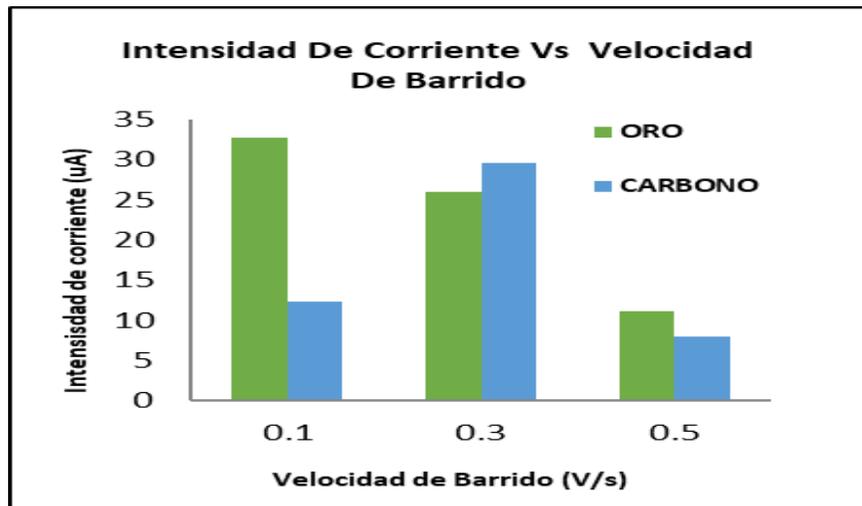


Figura 3. Comparativa de los electros de Oro y Carbono para las velocidades de barrido estudiadas.

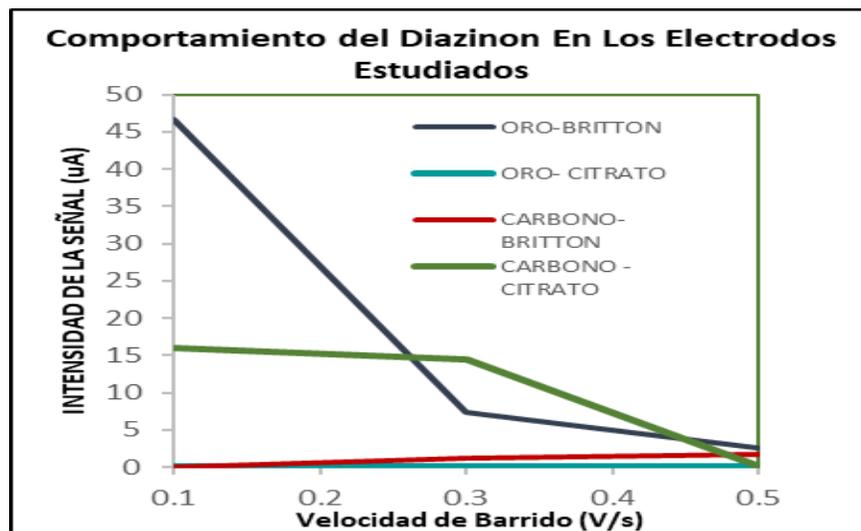


Figura 4. Intensidad de señal para Diazinon en los electrodos estudiados.

La descripción y cuantificación del analito se realizó mediante voltametría cíclica con un electrodo de Oro, en buffer Britton Robinson pH=6 de acuerdo con los parámetros señalados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Condiciones para voltametría cíclica del Diazinon sobre el electrodo de oro.

Measurment:	
E begin (v): 0.0	Srate:0.1
E vtx1 (v): 1.5	N scan (s): 1.0
E vtx2 (v): -1.5	
E step: (v): 0.01	T puls (ms): 10.0

En la Figura 5 se muestra el voltamograma cíclico para la respuesta de Diazinon en un electrodo de oro. En el mismo se observa una respuesta no reversible del sistema en estudio (no se observa un pico de reducción del analito) durante el barrido realizado. A su vez se realizaron voltametrías cíclicas consecutivas para evaluar la existencia de procesos de adsorción en la superficie del electrodo de oro en ausencia/presencia del analito. Para obtener el voltamograma cíclico se midió la corriente que pasa por el electrodo de oro en buffer Britton Robinson pH=6 que sirve como electrolito de soporte.

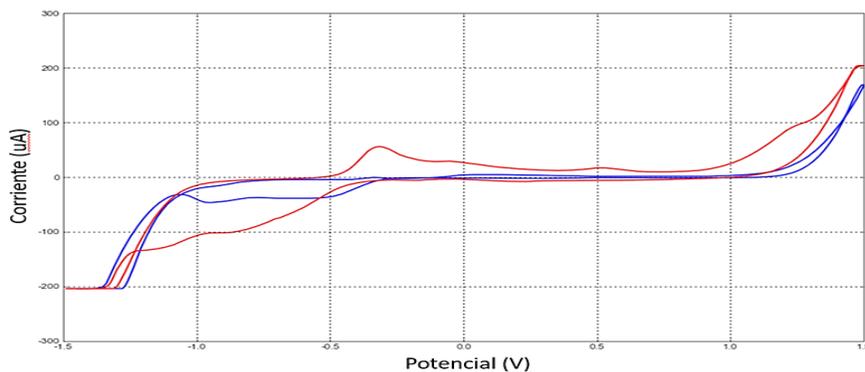


Figura 5. Voltamograma cíclico para Diazinon en electrodo de oro. Rojo: señal observada para Diazinon. Azul: señal de fondo.

En las voltametrías cíclicas realizadas para la identificación de Diazinon se observa un pico definido a -0,4 V en el barrido de oxidación por lo que se establece el mismo como el punto de identificación del compuesto Diazinon bajo las condiciones de solvente y pH utilizadas.

Para la cuantificación de Diazinon se realizaron varios ensayos mediante la técnica de voltametría de pulso diferencial de acuerdo con las condiciones establecidas en el cuadro 2 y en la figura 4 se puede observar la señal obtenida para la curva de calibración con cuatro adiciones sucesivas de 100 uL del patrón de Diazinon de 50 mg/L.

Cuadro 2. condiciones de análisis por DPV

T Cond (S): 120.0	
Tdep(S): 0.25	
Tequil (S):0.00	
Measurment:	
E Begin (V):-1.0	Srate:0.02
E End (V): 1.0	
E Step (V): 0.005	
E Pulso (V)	T Puls (Ms): 10.0
Buffer: Britton Robinson, pH:6	

Las curvas de calibración por adición de estándar presentan buena correlación como se demuestra en la figura 4. Se realiza una curva para cada muestra ya que los electrodos serigrafados utilizados son descartables.

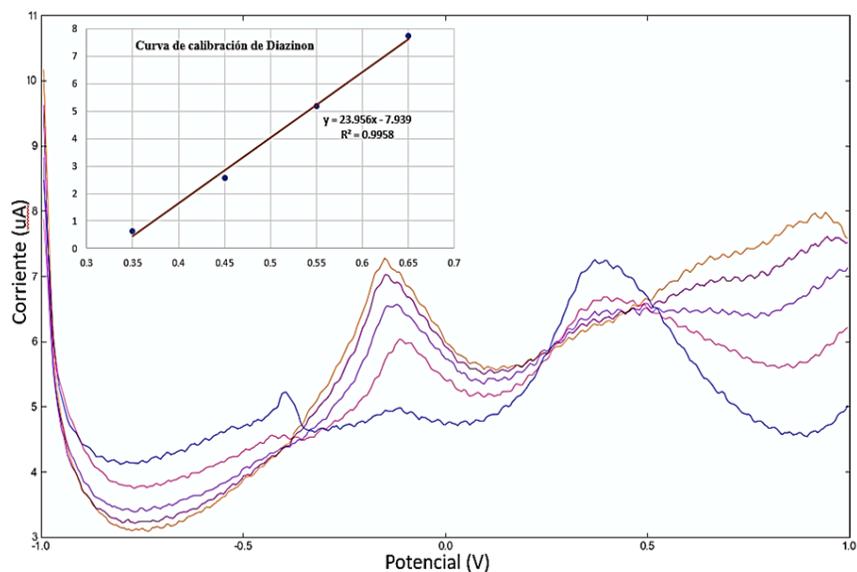


Figura 6. Curva de calibración de adiciones sucesivas de Diazinon en matriz de suelo arcilloso.

Se respetaron los límites de la lectura de cada electrodo (6 lecturas) para evitar diferencias estadísticamente significativas al realizar lecturas de curva y muestra en electrodos diferentes.

Estudio de Recuperación

Los experimentos de recuperación se realizaron preparando una muestra de suelo blanco a la cual se le añadió suficiente Diazinon para que el extracto final tuviera una concentración de 0,5 mg/L, este procedimiento se realizó por triplicado en 3 ensayos diferentes, se presentan los datos promediados y agrupados por ensayo, los resultados se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. *Ensayos de recuperación de Diazinon para una concentración de 0,5 mg/L en matriz de suelo*

Diazinon	% Recuperación ensayo 1	% Recuperación ensayo 2	% Recuperación ensayo 3	% Recuperación Promedio	Desviación Estándar de la Recuperación	% CV de la Recuperación
	55	78	66	66	9.4	14.2

Las recuperaciones obtenidas se aproximan al 70 %, un valor esperado para experimentos de este tipo en donde se trabaja a niveles de trazas de acuerdo con las dispersiones de Horwitz estimadas para análisis de trazas en matrices complejas.

Estudio Cromatográfico

Con el objetivo de comprobar la eficiencia de las medidas electroquímicas y de la técnica de extracción, se utilizó como técnica de referencia la cromatografía de gases (GC-NPD).

Las condiciones instrumentales optimizadas para el análisis por cromatografía de gases fueron las siguientes:

- a) Inyector: Modo: pulsed splitless; Temperatura inicial: 267 °C; Presión: 9.16 psi. Flujo: 44.9 mL/min; Gas de arrastre: Helio
- b) Horno Temperatura inicial: 85 °C; Temperatura máxima 300 °C; Tiempo de equilibrio: 3.00 min; Tiempo de corrida: 45.75 min. La rampa de calentamiento que se utilizó inició en 100°C con incrementos de 4 °C hasta 140°C sostenido durante 10 min, luego incrementos de 5°C hasta 280°C sostenido durante 4 min.
- c) Columna: Tipo: capilar HP-5, 5% de fenil metil siloxano; Largo: 30.0 m; Diámetro: 320 nm; Espesor del relleno: 0.25 um, Temperatura máxima: 325 °C
- d) Detector: Nitrógeno y fósforo; Temperatura: 300 °C; Gas de Makeup: Nitrógeno.

El estudio cromatográfico se realizó simultáneamente para varios plaguicidas, se presentan en este caso, cinco plaguicidas: (a) Cadusafos (tr: 24.664 min), (b)Terbufos (tr: 27.888 min), (c)Diazinon (tr: 28.345 min), (d)Malatión (tr: 28.700 min), (e)Clorpirifos (tr: 34.951 min).

El método cromatográfico es selectivo ya que las señales de los plaguicidas superan la señal de blanco de suelo por lo que la cuantificación puede realizarse con la confianza de que no es un falso positivo. También es capaz de resolver los picos adecuadamente, de manera que la separación es eficiente y no hay solapamiento en las señales de los analitos como se puede apreciar en la figura 5.

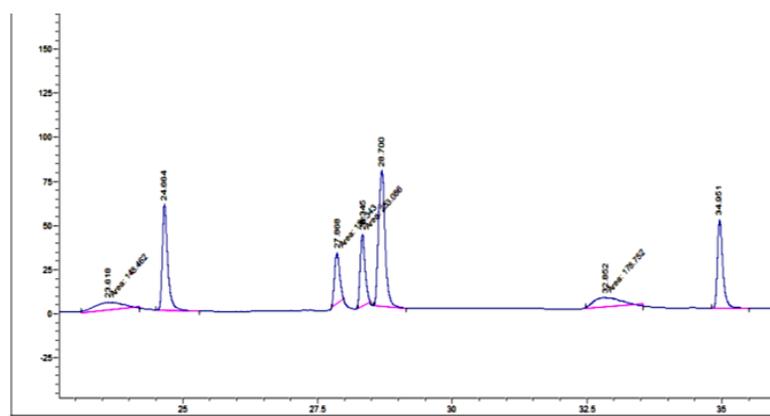


Figura 7. Cromatograma de nivel 1 de la curva de calibración, (0,1 mg/L). (a) Cadusafos, (b) Terbufos, (c) Diazinon, (d) Malatión, (e) Clorpirifos.

En el cuadro 4, podemos observar los resultados estadísticos de ambas metodologías; se demostró que el método GC/NPD es capaz de detectar los plaguicidas estudiados en un análisis simultáneo (multiresiduo) en concentraciones tan bajas como 0,2 mg/L. La cuantificación requiere que la presencia de los analitos se encuentre en una concentración mínima de 0,5 mg/L, esto debido al efecto matriz que sufren estos compuestos en una matriz tan compleja como lo es el suelo.

Cuadro 4. Comparación de la Técnica de cromatografía de Gases (GC/NPD) y la Técnica por voltimetría diferencia de pulso diferencial (DPV)

	Plaguicida	s (m)	CV (m)	LD	LC
			%	(mg/L)	(mg/L)
GC/NPD	Cadusafos	±0.9951	11.01	0.4	0.6
	Terbufos	± 0.1264	1.47	0.05	0.1
	Diazinon	± 0.6942	6.38	0.2	0.4
	Malatión	± 0.4055	8.08	0.3	0.5
	Clorpirifos	± 0.4055	7.56	0.2	0.5
DPV	Diazinon		8.26	0.2	0.3

Los límites de detección y cuantificación por la DPV han sido calculados a partir de la desviación estándar de la señal del blanco (LD= 3 s del blanco; LC= 10 s del blanco) en matriz de la muestra, se obtuvo que, para el Diazinon, el método desarrollado es capaz de detectar 0,2 mg/L y de cuantificar Diazinon en cantidades de hasta 0,3 mg/L.

Análisis de muestras reales

En el cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos de muestras reales de suelo arcilloso muestreadas mediante la técnica de muestreo aleatorio estratificado. A este suelo le fue aplicado el plaguicida Diazinon como parte del cuidado del cultivo de piña y la muestra fue recolectada al segundo día de la aplicación.

Cuadro 5. Niveles de Diazinon encontrados en muestras reales

<i>M</i>	<i>Horizonte muestreado</i>	<i>Diazinon (mg/L)</i>	<i>Diazinon (ug /kg de Suelo)</i>
1	C	0.32	65.0
2	C	L.D.	L.C.
3	C	L.D.	L.C.
4	B	L.D.	L.D.
5	A	L.D.	L.D.
6	A	L.D.	L.D.
7	A	L.D.	L.D.

L.D.: menor al límite de detección. L.C.: menor al límite de cuantificación

En la cuantificación de muestras reales se puede observar que la concentración final obtenida se correlaciona con el horizonte muestreado de donde proviene dicha muestra. El horizonte A, corresponde a una muestra tomada en el punto más empinado del terreno de muestreo, el horizonte B, corresponde a una muestra tomada en el punto medio del terreno y el horizonte C corresponde a una muestra tomada en la parte más baja de terreno muestreado, lo que sustenta investigaciones realizadas anteriormente en donde se establece la rápida movilidad del Diazinon por escorrentía.

Ambos métodos, tanto el cromatográfico como el voltamétrico, presentan recuperaciones adecuadas, por otra parte, los límites de cuantificación son bastante similares, aunque la técnica voltamétrica presenta un L.C. ligeramente menor, esto representa una gran ventaja en el uso de la electroquímica como método de cuantificación. Por otra parte, el método cromatográfico presenta la ventaja de que permite una detección multiresiduo simultánea de hasta 20 analitos diferentes en un mismo análisis. Mientras que el análisis multiresiduo a través de técnicas electroquímicas es un poco más complejo ya que requiere el uso de otras tecnologías de modificación sobre la superficie del sensor que realiza la detección de manera que permita el aumento en la especificidad de este.

Los ensayos de recuperación se realizaron en un suelo arcilloso, libre de residuos de plaguicidas al cual se le añadió volumen suficiente de la mezcla de plaguicidas de manera que el extracto final tuviera una concentración de 0.5 mg/L.

Las recuperaciones obtenidas están dentro de los límites aceptados para el análisis de plaguicidas, de acuerdo con Horwitz, que sustenta que la dispersión en los resultados de análisis de trazas es mayor que en el análisis de macrocomponentes y propone que se acepten recuperaciones alrededor del 70 % para plaguicidas y otros componentes traza, lo que permite utilizar este método para cuantificar muestras reales ya que el método de extracción es robusto; se atribuye la diferencia entre los recuperados a la sensibilidad que tiene el Diazinon para oxidarse con la luz, lo que obliga a analizarlo rápidamente.

Se ha realizado una búsqueda sobre las regulaciones nacionales que se establecen en cuanto a los niveles de Diazinon en suelos; en la norma

panameña de suelos mediante decreto ejecutivo No. 2 (De 14 de enero de 2009) "Por el cual se establece la Norma Ambiental de Calidad de Suelos para diversos usos" establece en su artículo 4 que : Los titulares de las actividades relacionadas con el suelo, están obligados a remitir a la Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM), en un plazo no superior a dos (2) años a partir de la promulgación de este Decreto Ejecutivo, un Informe Preliminar de Situación del Suelo que incluye los análisis químicos de pH y materia orgánica, y el análisis microbiológico de la actividad de la deshidrogenasa.

La FAO y la norma panameña para alimentos también establecen niveles máximos de residuos de Diazinon en distintos alimentos, sin embargo, no se incluye el suelo como posible matriz de análisis. Se ha encontrado que investigaciones realizadas por (J. Molieri, 1995) reportan niveles de Diazinon en suelo entre 0,35 mg/L y 0,45 mg/L y A. Ragas (Ad et al., 1994) reportan niveles de hasta 1 mg/g de Diazinon en suelo. Los niveles encontrados en el terreno muestreado son inferiores a los reportados en la literatura.

CONCLUSIONES

Se ha implementado la técnica SAESC para extracción de plaguicidas en suelos, la cual es robusta y presenta muchas ventajas sobre las técnicas de extracción clásicas tanto en tiempo como en cantidad de reactivos, ya que las técnicas clásicas pueden consumir en promedio 500 mL de solvente en un tiempo de 4 horas; sin embargo, esta técnica consume únicamente 5 mL de solvente en un tiempo de extracción de 20 min.

Se ha realizado un estudio cromatográfico para evaluar la técnica de extracción implementada, lo que ha permitido que el departamento de Sanidad Vegetal del MIDA obtenga una metodología confiable para el análisis de suelos, y así complementar la oferta de servicios a los productores nacionales.

Se ha realizado una caracterización preliminar del Diazinon a través de la técnica de Voltametría Cíclica y se obtienen los primeros análisis de Diazinon en suelos panameños mediante técnicas electroanalíticas.

Los niveles de Diazinon encontrados son bajos, aunque la norma panameña no establece un límite máximo de residuo de Diazinon en suelos; niveles bajos de Diazinon pueden deberse a la rápida descomposición por efecto de la luz solar.

Es difícil establecer si estos niveles son adecuados o no según alguna norma ya que internacionalmente no se considera, solo se evalúa la presencia de esta sustancia en alimentos y aguas.

Parece interesante resaltar, en vista a la presencia del Diazinon, que debería considerarse la evaluación de los niveles de plaguicidas en suelo con movilidad y estabilidad demostrada, ya que esto podría ser una fuente adicional de contaminación de acuíferos y de fuentes de agua para potabilizar. Aun cuando el Diazinon pueda degradarse fácilmente, bajo ciertas circunstancias puede ser muy estable lo que significa un posible riesgo a la salud pública.

BIBLIOGRAFIA

Arienzo, M., Sánchez-Camazano, M., Sánchez-Martín, M., y Crisanto, T. (1994). Influence of exogenous organic matter in the mobility of diazinon in soils. *Chemosphere*, 29(6), 1245–1252. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)90255-0](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)90255-0)

Badii, M. H., y Varela, S. (2015). Insecticidas Organofosforados: Efectos sobre la Salud y el Ambiente. *Cultura Científica Y Tecnológica*, (28). Recuperado a partir de <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/375>

Castro, J., Sánchez-Brunete, C., y Tadeo, J. (2001). Multiresidue analysis of insecticides in soil by gas chromatography with electron–capture detection and confirmation by gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 918(2), 371–380. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(01\)00751-8](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(01)00751-8)

Colborn, T., Dumanoski, D., y Myers, J. P. (1997). *Our Stolen Future: Are We Threatening Our Fertility, Intelligence, and Survival?--A Scientific Detective Story* (First Printing ed.). Plume.

ČOlović, M., Krstić, D., Petrović, S., Leskovac, A., Joksić, G., Savić, J., Franko, M., Trebše, P., y Vasić, V. (2010). Toxic effects of diazinon and its photodegradation products. *Toxicology Letters*, 193(1), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2009.11.022>

Edwards, G. A., Bergren, A. J., y Porter, M. D. (2007). Chemically Modified Electrodes. *Handbook of Electrochemistry*, 295–327. <https://doi.org/10.1016/b978-044451958-0.50021-5>

Eisler, R. (2000). *Handbook of Chemical Risk Assessment: Health Hazards to Humans, Plants, and Animals, Three Volume Set* (1st ed.). CRC Press.

El-Gendy, K., Mosallam, E., Ahmed, N., y Aly, N. (2018). Determination of glyphosate residues in Egyptian soil samples. *Analytical Biochemistry*, 557, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2018.07.004>

Erdoğdu, G. (2003). A sensitive voltametric method for the determination of Diazinon Insecticide. *Journal of Analytical Chemistry*, 58(6), 569–572. <https://doi.org/10.1023/a:1024120320359>

Espinosa J. (1984). Plaguicidas. *Revista Miscelánea*, 3, 10-20.

Gamez, M. J. (2022, May 24). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Garcia J. (1999). Análisis preliminar del uso de plaguicidas en la Cuenca del Río Tempisque. *Revista Acta Académica*, Universidad Autónoma de Centro América, 25, 51-62.

Glavan, G., Kos, M., Božič, J., Drobne, D., Sabotič, J., y Kokalj, A. J. (2018). Different response of acetylcholinesterases in salt- and detergent-soluble fractions of honeybee haemolymph, head and thorax after exposure to diazinon. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 205, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2017.12.004>

Gulaboski, R., Ferreira, E. S., Pereira, C. M., Cordeiro, M. N. D. S., Garau, A., Lippolis, V., y Silva, A. F. (2007). Coupling of Cyclic Voltammetry and Electrochemical Impedance Spectroscopy for Probing the Thermodynamics of Facilitated Ion Transfer Reactions Exhibiting Chemical Kinetic Hindrances. *The Journal of Physical Chemistry C*, 112(1), 153–161. <https://doi.org/10.1021/jp076203s>

Guziejewski, D., Skrzypek, S., y Ciesielski, W. (2011). Square wave adsorptive stripping voltammetric determination of diazinon in its insecticidal formulations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(11), 6575–6582. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2442-7>

Koryta, J., Dvorak, J., y Kavan, L. (1993). *Principles of Electrochemistry* (2nd ed.). Wiley.

Lazarević-Pašti, T. D., Bondžić, A. M., Pašti, I. A., Mentus, S. V., & Vasić, V. M. (2013). Electrochemical oxidation of diazinon in aqueous solutions via electrogenerated halogens – Diazinon fate and implications for its detection. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 692, 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2013.01.005>

Li, M., Li, Y. T., Li, D. W., y Long, Y. T. (2012). Recent developments and applications of screen-printed electrodes in environmental assays—A review. *Analytica Chimica Acta*, 734, 31–44. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.05.018>

Liu, Y., Song, C., Li, Y., Liu, Y., y Song, J. (2011). The distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in surface sediments of Bohai Sea Bay, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(4), 1921–1927. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2089-4>

Lourenço AS, Sanches FA, Magalhães RR, Costa DJ, Ribeiro WF, Bichinho KM, Salazar-Banda GR, y Araújo MC. 2014. Electrochemical oxidation and electroanalytical determination of xylitol at a boron-doped diamond electrode. *Talanta*. Feb; 119:509-16. doi: 10.1016/j.talanta.2013.11.030.

Mason, B. (1992). Preparation of soil sampling protocols: Sampling techniques and strategies. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/R-92/128.

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/30003W4E.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1991+Thru+1994&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C91thru94%5CTxt%5C00000005%5C30003W4E.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyURL>

Matsumura, F. (1985). Effects of Pesticides on Wildlife. *Toxicology of Insecticides*, 437–487. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2491-1_10

Mercado, L. A., Freille, S. M., Vaca-Pereira, J. S., Cuellar, M., Flores, L., Mutch, E., Olea, N., y Arrebola, J. P. (2013). Serum concentrations of p,p'-dichlorodiphenyltrichloroethane (p,p'-DDE) in a sample of agricultural workers from Bolivia. *Chemosphere*, 91(10), 1381–1385. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.12.023>

Miller, I., y Werber, M. (1979). Cyclic voltammetry of two Ferredoxins from Halobacterium of the Dead Sea. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, 100(1–2), 103–110. [https://doi.org/10.1016/s0022-0728\(79\)80154-0](https://doi.org/10.1016/s0022-0728(79)80154-0)

Molieri J., (1995). *Plaguicidas, Salud y Desarrollo Sostenible en Centroamérica*. Los Desafíos de la Salud Ambiental. Cuadernos de la Representación OPS/OMS En Panamá (3, 1-76) Panamá: OPS/OMS.

Moreno Frías, M., Garrido Frenich, A., Martínez Vidal, J., Mateu Sánchez, M., Olea, F., y Olea, N. (2001). Analyses of lindane, vinclozolin, aldrin, p,p'-DDE, o,p'-DDT and p,p'-DDT

in human serum using gas chromatography with electron capture detection and tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 760(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/s0378-4347\(01\)00212-2](https://doi.org/10.1016/s0378-4347(01)00212-2)

Narenderan, S., Meyyanathan, S., y Karri, V. V. S. R. (2019). Experimental design in pesticide extraction methods: A review. *Food Chemistry*, 289, 384–395. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.045>

Pravda, M. (2011). Analytical Methods | Electrochemical Analysis. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 193–197. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374407-4.00018-2>

Ragas, A. M., Oldenkamp, R., Preeker, N., Wernicke, J., y Schlink, U. (2011). Cumulative risk assessment of chemical exposures in urban environments. *Environment International*, 37(5), 872–881. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.02.015>

Rębiś, T., Sobczak, A., Wierzchowski, M., Frankiewicz, A., Teżyk, A., y Milczarek, G. (2018). An approach for electrochemical functionalization of carbon nanotubes/1-amino-9,10-anthraquinone electrode with catechol derivatives for the development of NADH sensors. *Electrochimica Acta*, 260, 703–715. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.12.022>

Rodríguez J., Lamoth L., (1994). *Contaminación de Alimentos de Origen Agrícola con Residuos de Plaguicidas en Panamá*. Congreso Latinoamericano de Química (XXI, 1-10) Panamá: Panamá.

Sánchez, J. D. (2015, November). *Educación en inocuidad de alimentos: Glosario de términos*. Pan American Health Organization / World Health Organization. [_content&view=article&id=10433:educacion-inocuidad-alimentos-glosario-terminos-inocuidad-de-alimentos&Itemid=41278&lang=es](https://www.paho.org/es/content/view=article&id=10433:educacion-inocuidad-alimentos-glosario-terminos-inocuidad-de-alimentos&Itemid=41278&lang=es)

Sánchez-Brunete, C., Pérez, R., Miguel, E., y Tadeo, J. (1998). Multiresidue herbicide analysis in soil samples by means of extraction in small columns and gas chromatography with nitrogen–phosphorus and mass spectrometric detection. *Journal of Chromatography A*, 823(1–2), 17–24. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(98\)00293-3](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(98)00293-3)

Sánchez-Brunete, C., Rodríguez, A., y Tadeo, J. (2003). Multiresidue analysis of carbamate pesticides in soil by sonication-assisted extraction in small columns and liquid chromatography. *Journal of*

Chromatography A, 1007(1–2), 85–91. [https://doi.org/10.1016/s0021-9673\(03\)00953-1](https://doi.org/10.1016/s0021-9673(03)00953-1)

Singh Rathore, H. (2009). Methods of and Problems in Analyzing Pesticide Residues in the Environment. *Handbook of Pesticides*, 7–46. <https://doi.org/10.1201/9781420082470.ch2>

Smith, J., Chapman, R., y Frampton, C. (1998). Soil degradation of diazinon and its effect on the emergence of apple leafcurling midge. *Proceedings of the New Zealand Plant Protection Conference*, 51, 148–151. <https://doi.org/10.30843/nzpp.1998.51.11677>

Smyth, W. F., y Smyth, M. R. (1987). Electrochemical analysis of organic pollutants. *Pure and Applied Chemistry*, 59(2), 245–256. <https://doi.org/10.1351/pac198759020245>

Songa, E. A., y Okonkwo, J. O. (2016). Recent approaches to improving selectivity and sensitivity of enzyme-based biosensors for organophosphorus pesticides: A review. *Talanta*, 155, 289–304. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.04.046>

Strekopytov, S., Brownscombe, W., Lapinee, C., Sykes, D., Spratt, J., Jeffries, T. E., y Jones, C. G. (2017). Arsenic and mercury in bird feathers: Identification and quantification of inorganic pesticide residues in natural history collections using multiple analytical and imaging techniques. *Microchemical Journal*, 130, 301–309. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.10.009>

Turiel, E., Martín-Esteban, A., y Tadeo, J. L. (2006). Multiresidue analysis of quinolones and fluoroquinolones in soil by ultrasonic-assisted extraction in small columns and HPLC-UV. *Analytica Chimica Acta*, 562(1), 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2006.01.054>

Tuzimski, T., yRejczak, T. (2016). Application of HPLC–DAD after SPE/QuEChERS with ZrO₂-based sorbent in d-SPE clean-up step for

pesticide analysis in edible oils. *Food Chemistry*, 190, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.072>

Uhrovčik, J. (2014). Strategy for determination of LOD and LOQ values – Some basic aspects. *Talanta*, 119, 178–180. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.10.061>

Volke T., Velasco J., y De la Rosa D., (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides*. Instituto Nacional de Ecología. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 1, 144. Volume 37, Issue 5, 2011, Pages 872-881, ISSN 0160-4120.

Welsch, J., Songling, C., Buckley, H. L., Lehto, N. J., Jones, E. E., y Case, B. S. (2019). How many samples? Soil variability affects confidence in the use of common agroecosystem soil indicators. *Ecological Indicators*, 102, 401–409. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.065>

Wexler, P. (2014). *Encyclopedia of Toxicology* (3rd ed.). Academic Press.

Workman, Jerome y Mark, H., (2006). *Limitations in analytical accuracy, part I: Horwitz's trumpet*. Spectroscopy -Springfield then Eugene then Duluth-. 21. 18-24.

Wu, M., Zhang, L., Wang, D., Xiao, C., y Zhang, S. (2008). Cathodic deposition and characterization of tin oxide coatings on graphite for electrochemical supercapacitors. *Journal of Power Sources*, 175(1), 669–674. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.09.062>

Recibido el 6 de mayo de 2022

Aceptado el 16 de junio de 2022

Editor responsable Dr. Eduardo Camacho Astigarrabia