

Vol. 1 No. 1, julio-diciembre, 2023.

Revista Científica


NATURAL

ISSN L2992-6424



Universidad Autónoma de Chiriquí



UNACHI
Hombre y cultura para el porvenir

Universidad Autónoma de Chiriquí

Universidad Autónoma de Chiriquí

Ciudad Universitaria, David, Chiriquí
República de Panamá

REVISTAS.UNACHI.AC.PA

AUTORIDADES SUPERIORES
Rectora

Mgtr. Etelvina de Bonagas
Vicerrectora Académica

Dra. Oida Cano

Vicerrector de Investigación y Posgrado

Dr. Roger Sánchez

Vicerrectora Administrativa

Mgtr. Rosa Moreno

Vicerrector de Asuntos Estudiantiles

Mgtr. Jorge Bonilla

Vicerrector de Extensión

Dr. José Victoria

Secretaría General

Mgtr. Blanca Ríos

REVISTA CIENTÍFICA VIDA NATURAL

Jefe Editorial

Diana Gómez

Vicerrectoría de Investigación y Posgrado
Universidad Autónoma de Chiriquí

Comité Editorial

Dr. Eyvar E. Rodríguez Quiel

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas
Universidad Autónoma de Chiriquí

Dr. Alonso Santos Murgas

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas
Universidad de Panamá

Dra. Edilia de la Rosa Manzano

Instituto de Ciencias aplicadas
Universidad de Tamaulipas.

Dra. Soizic Gibeaux

Université de Bretagne Sud

Dra. Helena Einzmann

Instituto de Biología.

Grupo Ecología Funcional-Universidad de Oldenburg.

Ficha Técnica:

Páginas:

Diseño y diagramación: Gida Guerra

Volumen 1 Número 1

Páginas 94

Publicación Digital

revista.vidanatural@unachi.ac.pa

Portada

"La rana y el Lactarius".

Fotografía por Kevin Camarena

2023

Contenido

El papel de la participación comunitaria en la evaluación del estado de anfibios en peligro de extinción en cuatro comunidades 1-18

Cumplimiento de normas éticas de investigación en las tesis de Maestrías en Biología elaboradas en la Universidad Autónoma de Chiriquí 19-36

Aproximación in silico a la adsorción de etanol, etanal y ácido etanoico en la superficie (001) Ni(OH)₂ mediante dinámica molecular 37-51

Estudio del desarrollo corporal de bovinos cruzados Wagyu-Brahman en el trópico húmedo, Panamá 52-65

Los microplásticos en el entorno acuático: Un vistazo a la cinética, mecanismo de degradación, impacto ambiental y en la salud humana 66-88

Phoretic pseudoscorpions associated with the Alston's Singing Mouse (*Scotinomys teguina*) in Western Panama 89-94

El papel de la participación comunitaria en la evaluación del estado de anfibios en peligro de extinción en cuatro comunidades

The role of the community participation in assessing the status of endangered amphibians in four communities

Michelle Quiroz-Espinoza^{1,2}

Madian Miranda²

Abel Batista^{1,2}

<https://orcid.org/0000-0002-6955-4605>

<https://orcid.org/0000-0002-0415-0327>

<https://orcid.org/0000-0001-8053-3373>

¹Universidad Autónoma de Chiriquí. Instituto Interdisciplinario de Investigación e Innovación (i4). Panamá

²Fundación Los Naturalistas. David, Panamá.

Autor correspondiente: michelle.quiroz@unachi.ac.pa

Enviado el 20 de enero de 2023. Aceptado el 22 de marzo de 2023.

Resumen

Algunas zonas de amortiguamiento de las áreas protegidas de Panamá son ocupadas por el ser humano, e incluso muchas están bajo fuerte presión por el crecimiento poblacional o agrícola, es importante tomar medidas para evitar la degradación de estas zonas y se afecte las características de estos sitios de gran diversidad, sensibilizando a las comunidades aledañas a estos sitios sobre el papel que juegan los anfibios en los ecosistemas. Para lograr este objetivo de conservación se han definido dos estrategias, la educación ambiental y la ciencia ciudadana, aplicando un plan de educación ambiental, un protocolo de monitoreo y el Festival internacional de la Salamandra, donde la comunidad no científica participó activamente en el proyecto Anfibios en la Unión de las Américas. En el desarrollo de las estrategias se seleccionaron cuatro comunidades (Boquete, Santa Fe, Achiote y Pijibasal) donde se logró capacitar a 500 estudiantes aplicando un plan de educación ambiental con evaluaciones al inicio y final de cada jornada, el 83 % de los estudiantes capacitados reconoció exitosamente a los anfibios, el 82 % reconoció cuáles son los problemas que estos afrontan y el 97 % reconoce la importancia de los anfibios. Cincuenta y seis guías locales y líderes comunitarios participaron en la estrategia de ciencia Ciudadana con talleres sobre monitoreo de anfibios e identificación donde se registraron 595 especímenes pertenecientes a 50 especies de anfibios, mostrando una alta diversidad en los sitios de estudio ($D_{mg} = 7.67$), cuatro especies endémicas de Panamá se encuentran bajo alguna categoría de amenaza por lo que es de suma importancia darle continuidad a este tipo de estrategias para lograr resultados a mediano y largo plazo en donde se verán beneficiados los anfibios, sus ecosistemas y las comunidades cercanas.

Palabras claves: Ciencia Ciudadana, conciencia, conservación, educación, indicadores, sociedad.

Abstract

Some buffer zones of Panama's protected areas occupied by humans, and many are even under heavy pressure from population or agricultural growth. It is important to take measures to avoid the degradation of these zones and the characteristics of these sites are affected of great diversity, raising awareness in the communities nearing these sites about the role played by amphibians in the ecosystems. To achieve this conservation objective, two strategies have been defined: environmental education and

citizen science, applying an environmental education plan, a monitoring protocol and the International Salamander Festival, where the non-scientific community actively participated in the Amphibian project in the Union of the Americas. In the development of the strategies, four communities were selected (Boquete, Santa Fe, Achote and Pijibasal) where it was possible to train 500 students applying an environmental education plan with evaluations at the beginning and end of each day, 83 % of the students trained successfully recognized amphibians, 82 % recognizing the problems they face and 97 % recognizing the importance of amphibians. Fifty six local guides and community leaders participated in the Citizen Science strategy with workshops on amphibian monitoring and identification where 596 specimens belonging to 50 amphibian species were registered, showing a high diversity in the study sites ($D_{mg} = 7.67$), 4 Endemic species of Panama are under some category of threat, so it is extremely important to give continuity to this type of strategy to achieve results in the medium and long term where amphibians, their ecosystems and nearby communities will benefit.

Key words: Citizen science, conscience, conservation, education, indicators.

Introducción

A través de Planes de Educación Ambiental (PEA) se busca lograr conservar los anfibios y también a toda la biodiversidad de los bosques (Brito, 2008; Urbina-Cardona et al. 2008). Gran parte de los PEA se basan en el estudio de aves o mamíferos ya que las personas las consideran más atractivos, pero estos animales también son muy carismáticos y merecen ser integrados a los planes de conservación ya que algo similar pasa en nuestro país (Cedeño et al. 2014; Flórez-González et al. 2007; Quiroz-Espinoza et al. 2020). Sin embargo, organizaciones como la fundación Centro de Conservación de Anfibios del Valle de Antón (Fundación EVACC) o el Proyecto de Rescate y Conservación de Anfibios (PARC), realizan una ardua labor para la conservación en nuestro país e involucrar a la población panameña. A pesar de estas iniciativas se necesita más estrategias de conservación, ejemplo de ello, desarrollar el plan de acción para la conservación (ANAM, 2011), lo cual será muy oportuno ya que de las 230 especies enlistadas el 33 % se encuentra en peligro y se reportan dos especies probablemente extintas y 1 extinta en vida silvestre (AmphibianWeb, 2022; IUCN, 2023; Jaramillo et al. 2010).

El Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA, 2014) describe la ciencia ciudadana como “una estrategia científica donde se vincula la participación del público no científico, en investigaciones científicas para la recolección y análisis de datos con el apoyo de los investigadores”, por lo que es muy importante que sea participativa, de forma voluntaria y eficiente para lograr los objetivos de la investigación. Utilizando esta estrategia, se logra monitorear la biodiversidad aledaña a áreas pobladas o bosques, con métodos estandarizados, por lo que es una buena herramienta la conservación

(Betancur y Cañón Barriga, 2016; McKinley et al. 2016). Los científicos no pueden estar en campo cada día, por lo que la ciencia ciudadana se ha transformado en una forma de tomar en cuenta a las comunidades aledañas a los sitios de estudio, convirtiéndose en un excelente método para recopilar información local (Borsellino, 2017; Gómez-Hoyos et al. 2021; Urbina-Cardona et al. 2008).

Esta investigación formó parte del proyecto Anfibios en la Unión de las Américas: Ranas como modelos de estudios para los desafíos de conservación en Panamá, que fue ejecutado por la Universidad Autónoma de Chiriquí, Fundación Los Naturalistas y financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. El objetivo de este estudio fue integrar a las comunidades en actividades de educación ambiental y ciencia ciudadana que resulte en la generación de una conciencia ambiental responsable y datos sobre las poblaciones de especies bajo alguna categoría de conservación.

Materiales y Métodos

Para conocer el estado actual de los anfibios, se establecieron dos estrategias de conservación, un Plan de Educación Ambiental, la segunda estrategia implicó Ciencia Ciudadana a través de un Protocolo de Monitoreo y un Festival, el primer Festival de la Salamandra. A continuación, se describen las estrategias utilizadas:

Plan de Educación Ambiental:

Apoyados en el PEA anfibios en la escuela de Quiroz-Espinoza et al. (2020), llevamos a cabo capacitaciones en colegios y escuelas a estudiantes entre 7 y 18 años, estas capacitaciones consistieron en explicar a los estudiantes las características de estos animales, importancia, problemática y cómo conservarlos.

Además, realizamos encuestas antes y después de cada capacitación, la misma consistió en cinco preguntas, para observar la precesión que tenían los niños sobre los anfibios, las respuestas fueron tabuladas en un libro de Excel, en donde se evaluaron utilizando pruebas de homogeneidad y porcentajes de los resultados.

El PEA puede ser descargado en la página de web de la Fundación Los Naturalistas (<https://www.losnaturalistas.com>) y la Universidad Autónoma de Chiriquí (<http://www.unachi.ac.pa>),

en el documento utilizado se describe el contenido del módulo como también la estrategia metodológica aplicada en los centros escolares y actividades al finalizar cada capacitación, como la encuesta aplicada.

Ciencia ciudadana:

Es muy importante para nosotros involucrar a la comunidad no científica por lo que desarrollamos las estrategias descritas a continuación, y así lograr un acercamiento a cuatro comunidades en nuestro País.

Protocolo de Monitoreo: La obtención de datos de las especies claves inició en el 2017 con el Monitoreo de dos especies endémicas del Parque Nacional Volcán Barú (PNVB) en la comunidad de Boquete, en dos puntos importante de distribución de *Bolitoglossa magnifica* (camino a la cima del Volcán Barú) y *Craugastor monnichorum* (Alto Chiquero). Se establecieron tres parcelas (10 x 10 m) y un transecto (400 m) para *B. magnifica* y tres transectos (400 m) para *C. monnichorum*. Para cumplir uno de los objetivos de integrar a la comunidad, se hizo un llamado para convocar voluntarios que quisieran apoyar los monitoreos una noche por sitio mensualmente, los voluntarios fueron capacitados antes de cada monitoreo. Se seleccionaron cuatro comunidades importantes para la conservación de especies endémicas y con importancia turística, estas fueron: la comunidad de Boquete (Chiriquí), Santa Fe (Veraguas), Achioté (Colón) y Pijibasal (Darién) (Batista et al., 2014; CVC, 2003; Ortiz et al. 2020), ubicando transectos dentro y fuera de áreas protegidas (AP). En cada comunidad se entregaron libros de Protocolo de Monitoreo (Miranda et al. 2021), PEA, formulario de campo y un afiche con los anfibios más comunes de sus comunidades.

Las comunidades seleccionadas se les capacitó sobre técnicas de monitoreo de anfibios, apoyándonos en el Protocolo de Monitoreo de anfibios publicado previamente para este fin (Miranda et al. 2020). De igual forma, se realizó una capacitación virtual donde se establecieron sitios de muestreo por comunidad. La recopilación de datos de estos transectos inició en septiembre del 2017 hasta julio 2022, con frecuencia mensual, durante el día, desde las 8:00 hasta las 13:00 y en la noche de 18:30 a 23:30, se revisó el terreno, debajo de la hojarasca, bajo piedras, troncos y cualquier lugar que se considere adecuado para encontrar estos animales, se utilizó lámparas de cabeza y de mano, y se tomaron en cuenta datos climáticos (Lips et al. 1999). Durante las capacitaciones se les explicó cómo usar la herramienta de iNaturalist para subir registros de anfibios y los que no lograban reconocer eran subidos al grupo de WhatsApp que se creó para el contacto directo con cada comunidad, el uso de estas

plataformas contribuye grandemente a la documentación de la diversidad (Castro-Bastidas y Serrano, 2022). Para los registros de las especies se tuvieron en cuenta tres tipos de registro, los tomados durante los monitoreos (RM), los de forma fortuita (RF) encontradas en algún otro sitio cercano al sitio de estudio o fuera del tiempo de monitoreo y registro por iNaturalist (RiN) de las especies que fueron subidas en la plataforma. Los datos fueron tabulados en Excel y luego se realizó los cálculos para los índices de riqueza de especies del total de las especies registradas, tales como el índice de riqueza de Margalef (D_{mg}), la diversidad alfa con el índice de Shannon-Wiener (H') e índice de Simpson ((λ_{Simp})) también se analizó el índice de uniformidad o equidad de Pielou (J').

Selección de especies de estudio: Se seleccionaron especies claves para trabajar con las comunidades, seleccionando aquellas que se encuentra en peligro de extinción o que sean vulnerables por las actividades realizadas en su hábitat. Un ejemplo claro es la *Dendrobates auratus* de la familia Dendrobatidae (amenazada por pérdida de hábitat y tráfico ilegal) (IUCN SSC Amphibian Specialist group, 2020b), *Atelopus glyphus* y *A. varius* de la familia Bufonidae (ambas en peligro crítico de extinción) (IUCN SSC Amphibian Specialist group, 2019, 2020a) y salamandras de la familia de Plethodontidae, de igual forma se consideraron otras que se encuentran en alguna categoría de conservación (CITES, 2023; Ponce et al. 2022; Quiroz-Espinoza, 2019; Resolución No. DM-0657-2016, 2016).

Festival de la salamandra: Se eligió la comunidad de Boquete para realizar el festival, de la salamandra, uno de los sitios con mayor diversidad en la familia Plethodontidae (Hanken et al. 2005; Wake et al. 2007; AmphibianWeb, 2022). Se realizó reuniones con guías y líderes comunitarios. Junto al municipio, se efectuó un acercamiento a los centros escolares para desarrollar el PEA e invitarlos a participar del festival, durante el festival se realizó concursos de dibujos, máscaras de salamandras y exhibiciones fotografías.

Resultados

Plan de Educación Ambiental

A través del PEA se logró capacitar 15 escuelas, 14 de la comunidad de Boquete (estudiantes entre 7 y 18 años) y una en Darién en la comunidad de Pijibasal (estudiantes entre 7 y 12 años). Siendo un total de 500 estudiantes capacitados entre ambas comunidades, de los cuales, 421 estudiantes realizaron la

prueba previa y solo 162 realizaron la prueba posterior. Antes de la capacitación el 17.8 % de los estudiantes expresaron que les gustó mucho las ranas y el 14 % le gustó mucho la salamandra, en la prueba posterior se observó que los estudiantes cambiaron su pensamiento hacía los anfibios aumentando la preferencia por las ranas a 30 % y salamandras a 24 %, a pesar de estos resultados la precesión hacia los anfibios se debe de reforzar con más capacitaciones para que los estudiantes aprendan a valor la importancia de estos carismáticos animales.

El 75% de los estudiantes lograron reconocer a los sapos en el grupo de los anfibios seguido de las ranas con 49 %, la salamandra con 48 % y por último un 38 % las cecilias, es decir el 83 % de los estudiantes (figura 1).

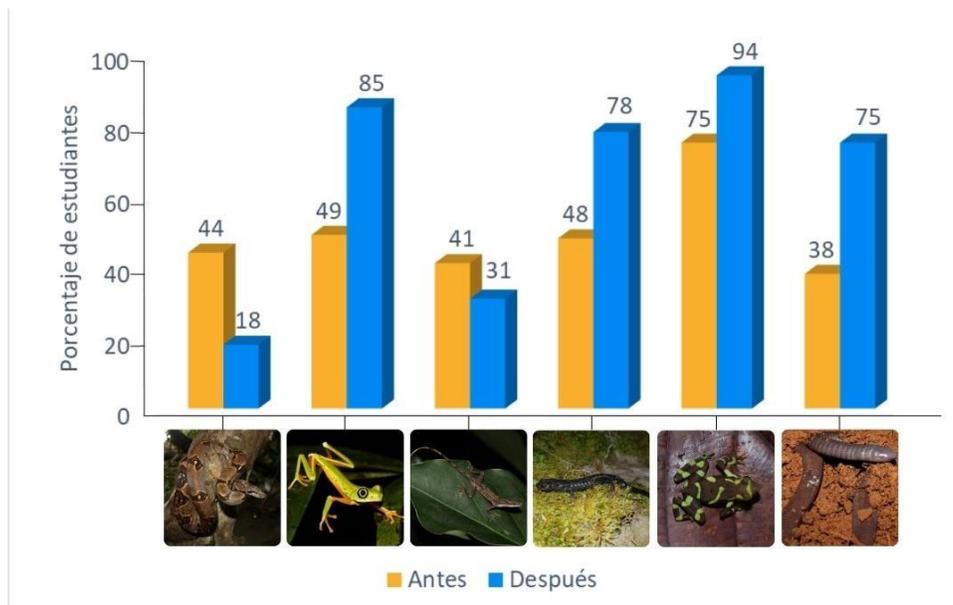


Figura 1. Porcentaje de aciertos en la identificación de los anfibios por parte de los estudiantes antes y después de las capacitaciones en las escuelas seleccionadas.

El 76 % de los estudiantes antes de la capacitación, consideraba a los anfibios importantes y al final el 97 % de los evaluados respondieron que sí eran importantes. Otra de las preguntas dentro de la evaluación mostró que el 75 % de los estudiantes manifestaron que sí se preocuparían, porque los anfibios son parte de la naturaleza, al realizar nuevamente la evaluación aumentó a 97 %. En cuanto a la problemática que

tiene los anfibios en la naturaleza, el 49 % de los encuestados consideraban que el calentamiento del planeta era una de las problemáticas que enfrentan los anfibios en la naturaleza, seguido de las enfermedades (52 %), luego la deforestación (60 %) y la contaminación con 84 %, estos resultados antes de la capacitación, en la prueba posterior el 71 % consideraba las enfermedades con una problemática, luego el calentamiento del planeta, posterior la deforestación y la contaminación con 92 % (figura 2).

Ciencia Ciudadana

Aplicación del Protocolo de Monitoreo

Al inicio del monitoreo en el PNVB, tuvimos la participación de 60 voluntarios de diferentes nacionalidades (Alemania, Italia, Suiza, Costa Rica, Estados Unidos, Colombia y Panamá). Durante el desarrollo del Protocolo de Monitoreo se logró capacitar a las cuatro comunidades propuestas, Boquete con nueve participantes; Santa Fe con 10; Achiote con 10 y Pijibasal con 19 participantes, ocho participantes de forma virtual, para un total de 56 personas entre guías locales y líderes comunitarios.

Se lograron establecer 17 transectos, obteniendo un total de 595 individuos y 50 especies de herpetos distribuidos en las cuatro comunidades, de las cuales 308 se registraron dentro de AP representadas en 32 especies (tabla 1), los valores de riqueza analizados fueron índice de D mg= 7.67, la diversidad alfa con el índice $H' = 4.46$ y 0.92 índice de Simpson, presentando una uniformidad de $J' = 0.67$. El índice de Margalef nos indica una alta diversidad en los sitios monitoreados, siendo la comunidad de Santa Fe de Veragua la más diversa, a través del índice de Shannon-Wiener también se comprobó que las comunidades son muy diversas, en cuanto al índice de Simpson revela que la diversidad de anfibios es muy alta ($S' = 0.92$) y el índice de equidad demuestra que las especies son igualmente abundantes.

Durante los monitoreos, la especie que se presentó en las cuatro comunidades fue *Craugastor fitzingeri*, sin embargo la *B. magnifica* fue la más abundante, después de una fuerte lluvia se inició la búsqueda y se registró 75 individuos durante una noche con bajareque. En cuanto a la abundancia de especies por comunidad, la comunidad de Santa Fe presentó mayor cantidad de especies D mg= 4.55, siendo 19 en AP y 23 en las zonas de amortiguamiento, *Rhaebo haematiticus* y *Agalychnis callidryas* las más abundantes, seguido de la comunidad de Boquete D mg= 3.58, con la *B. magnifica* la más abundante,

seguido de *Craugastor gabbi* y *Diasporus hylaeformis*. La comunidad de Achiote presentó una diversidad de $D\ mg = 3.91$, con *D. diastema* la más abundante, seguido de *D. auratus* y *R. alata*, dentro del AP. La comunidad de Pijibasal solo presentó $D\ mg = 0.91$.

De las 50 especies registradas, solo 10 especies entran dentro de una categoría de conservación según IUCN y siete baja los apéndices de CITES (CITES, 2023; IUCN, 2023) (tabla 1). La *Isthmohyla rivularis* especie EN registrada fuera y dentro de AP, otra especie registrada fuera de AP es la *Ecnomiohyla fimbrimembra* en categoría VU en la zona de amortiguamiento del PNVB. El ministerio de Ambiente de Panamá, presentó en la resolución No. DM-0657-2016 (2016), un listado de especies de fauna y flora amenazada en donde se destaca 91 especies de anfibios de las cuales 13 especies fueron registradas durante el este estudio, nueve en categoría de Vulnerable, tres en Peligro Crítico y uno en Peligro de Extinción. *Hyloscirtus palmeri*, *I. picadoi* y *Oedipina parvipis* presente en esta lista que no se encuentran bajo una categoría de conservación de la IUCN o CITES, durante los monitoreos se registraron poco individuos de estas tres especies (tabla 1). La comunidad de Boquete fue la comunidad que presentó la mayor cantidad de especies en categorías de conservación, muchas de estas presentando una baja abundancia y una tendencia poblacional decreciente, muy marcada por la pérdida de hábitat, estos datos ayudan cuando las autoridades requieren información para actualizar el estado de las poblaciones (tabla 1).

Festival de la Salamandra

Durante el festival de la salamandra se tuvo la visita de más de 500 personas, con diferentes edades. Se realizó los concursos de dibujos y máscaras donde participaron 13 centros educativos que fueron capacitadas dentro del PEA, se tuvo las presentaciones sobre anfibios, la misma fue realizada por investigadores nacionales e internacionales, 35 patrocinadores entre empresas locales y organizaciones que visitaron la comunidad para participar en el festival, estas organizaciones dedicadas a la conservación, educación ambiental e investigación. El festival fue organizado por la UNACHI, Fundación Los Naturalistas, OBC Bio-Guías de Panamá y Action Hub+ con el apoyo de las autoridades del municipio de Boquete. Durante el festival se realizó el primer tour nocturno para observar salamandras, el cual fue denominado un nuevo producto turístico para la comunidad de Boquete.

Discusión

Plan de Educación Ambiental

La percepción ambiental se ha logrado involucrar en algunos estudios de conservación del ambiente, por lo que consideramos que también se puede implementar para la conservación de organismos, claramente logrando cambios favorables para las especies en estudio, por los que antes de abordar un tema es importante conocer la percepción que tienen los estudiantes y así tener una idea de cómo ellos ven su entorno y mejorar las futuras capacitaciones (Betancur y Cañón Barriga, 2016; Herrera Reyes y Calixto Flores, 2010; Mohamed, J. y Cabo, 2011 citados en Barcenás García (2017)). En cuanto a esa percepción que tienen los estudiantes en base a los diferentes animales, fue muy evidente la preferencia por el gato y la mariposa, esto posiblemente a que el primero es un animal doméstico el cual está presente en casi todos los hogares, ligado a esto, hay estudios que revelan que los gatos son las mascotas preferidas de los humanos (De Meer et al. 2004; Hesselmar et al. 1999; Nieto Guerrero et al. 2018) y las mariposas después de su fase de oruga son muy atractivas, por sus tamaños y llamativos colores (Barcenás García, 2017; Juárez Jaramillo, 2018). En la figura 1 se puede observar que los estudiantes no conocen con claridad los anfibios o simplemente conocen las ranas y/o sapos, pero no saben que están dentro de un mismo grupo, consideramos que este desconocimiento es debido a que la mayoría de las personas ven más atractivo un ave o un mamífero, además, que se realizan más actividades con estos animales o con otros herpetos (ejemplo tortugas marinas), (Gómez-Hoyos et al. 2022).

Al inicio de la capacitación los estudiantes consideraban a los anfibios importantes por el simple hecho de ser parte de la naturaleza, luego de la capacitación los estudiantes comprendieron realmente cuál es ese importante papel que juegan estos animales en los ecosistemas al ser bioindicadores ambientales, controladores de plagas e incluso muchos de ellos portadores de sustancias para posibles fármacos (Barreto Blanco, 2021; Díaz-García, 2019; Rodríguez et al. 2017). Los resultados nos demuestran que los estudiantes están conscientes de cuáles son esas afectaciones que sufren los anfibios en la naturaleza. Con la capacitación, los estudiantes pudieron comprender con más claridad que la contaminación, la pérdida de hábitat (deforestación), el cambio climático y las enfermedades como el *Batrachochytrium*

dendrobatidis, son la causa de la pérdida de muchos anfibios en nuestro planeta (Lambertini et al. 2016; Wake y Vredenburg, 2008).

Ciencia Ciudadana

Estado de Conservación de los Anfibios = Protocolo de Monitoreo

La comunidad de Boquete fue la comunidad piloto donde se iniciaron los monitoreos con las comunidades, en donde se obtuvo una muy buena participación de parte de la comunidad, motivando a llevar este modelo a otras comunidades.

La comunidad de Pijibasal se encuentra en la zona de amortiguamiento del parque nacional más grande de Panamá, el Parque Nacional Darién (PND), fue la comunidad que menos especies presentó, debido a las complicaciones que sufrimos a nivel mundial con la pandemia lo que nos limitó a darle un seguimiento a esta comunidad. Además, Pijibasal es una comunidad que no cuenta con electricidad y tiene reducida señal telefónica, por lo que no se pudo dar el mismo seguimiento que se tuvo con las otras comunidades. A pesar de que la comunidad de Boquete no fue la comunidad con mayor riqueza de especies, si fue la comunidad que presentó mayor abundancia, siendo la *B. magnifica* la especie más abundante. Sin embargo, la pérdida de hábitat podría ser su mayor amenaza (Ayllon et al. 2005; Batista et al. 2014; B. E. Yound et al. 2004), ya que la población que se estuvo monitoreando se encuentra justo al borde del camino que sube al Volcán Barú, donde diariamente pasan autos 4x4 y constantemente se promueve el arreglo del camino para el acceso de todo tipo de auto. Realizar estudios dentro y fuera de AP es muy importante ya que facilita conocer el estado de sus poblaciones y poder establecer y/o darse seguimiento a planes de conservación (Hurtado Guerra et al. 2013). Los índices de diversidad arrojaron una alta diversidad y riqueza en las comunidades monitoreadas, consideramos que esto se ve influenciado al estar dentro de AP o en sus zonas de amortiguamiento (CVC, 2003; Ortiz et al. 2020).

El 41 % de los anfibios a nivel mundial se encuentran amenazados, incluidos en alguna categoría de conservación, entre los datos se pudo reconocer especies que tienen muy pocos registros, e incluso algunas especies no tiene una evaluación de cómo están sus poblaciones (IUCN, 2023). De las 14 especies de *Isthmohyla spp.* que se registran en la IUCN, 10 están presente en alguna categoría de vulnerabilidad, marcando una tendencia poblacional decreciente, un claro ejemplo de esto son los pocos registros de *I. rivularis* en comparación a otros tiempos, al registrarse dentro y fuera de AP se deben de implementar

planes muy rigurosos de conservación para esta especie al ser una especie con endemismo binacional (Panamá-Costa Rica) y así lograr que la poblaciones se recuperen (Olsen y Cossel, 2014). Algunas especies endémicas de Panamá como *O. vicentei*, *A. glyphus*, *B. magnifica* y *C. monnichorum*, ameritan claramente esfuerzos de conservación, ambas presentan un rango de distribución muy pequeño y una marcada tendencia población decreciente, reportándose una en el caribe panameño entre Veraguas, Coclé y costa baja de Colón, la otra en la Serranía de Pirre en Darién, con muy pocos estudios sobre ellas y su hábitat (Flores et al. 2019; Peña et al. 2016; Quiroz-Espinoza, 2019) y las dos últimas en la Cordillera de Talamanca, entre el PNVB y el Parque Internacional La Amistad (IUCN, 2023).

Conocer las especies que tenemos en nuestros bosques es muy importante para crear conciencia e iniciar a valorar el importante papel que juegan ellas en sus ecosistemas, por lo que es necesario que se sigan realizando actividades como el festival de la rana dorada y el de la salamandra, ya que este surgen debido al grado de amenaza en sus poblaciones o alta diversidad de especies en Panamá (Lewis et al. 2019; Ponce et al. 2022; Valencia y Fonte, 2021).

Conclusión

- Se pudo observar lo mal vistos que son estos carismáticos animales, por lo que se debería de dar seguimientos a estos planes de educación que favorecen al conocimiento de los anfibios y por consiguiente a otras especies. Las actividades como el festival de la salamandra y aplicación del PEA en las escuelas se deben reforzar y hacer permanentes en los currículos escolares y municipios respectivamente.
- Los estudiantes reconocen la importancia de estos carismáticos animales cerca de sus casas, por lo que se le debe de dar continuidad a este PAE u otro que complemente y que ayude a conservar no solo los anfibios sino a todo un ecosistema.
- Los monitoreos con los guías de turismo y líderes comunitarios de especies claves que se encuentran en peligro de extinción favorecen la conservación de estas especies, la información obtenida son datos importantes para divulgar en las comunidades, principalmente contribuyen al conocimiento de las especies y en lo posible a actualizar las bases de datos sobre estado de sus poblaciones y respectivas categorías de conservación.

- Es muy importante darle seguimiento a las estrategias de conservación que involucran la participación ciudadana, ya que esto motiva la participación de la comunidad no científica y acelera el cambio de actitud a favor de las comunidades biológicas, de igual forma divulgar y permitir el acceso a los resultados de los proyectos que se desarrollan, que la misma sea transmitida de una forma que la comunidad pueda comprender.

Agradecimiento

Extendemos un gran agradecimiento a los 32 guías locales y 24 líderes comunitarios de las comunidades por su participación en los talleres desarrollados en esas comunidades y la contribución de datos para los artículos científicos, con especial agradecimiento a los guías Plinio Montenegro (Boquete), Víctor Rodríguez (Santa Fe), Marcos Pacheco y Clímero Contreras (Pijibasal) y líder comunitario Daniel Holness (Achiote, CEASPA), por su apoyo incondicional en el acercamiento a los guías y líderes comunitarios. Muy agradecidos con el Ministerio de Ambiente y el Ministerio de Educación por los permisos facilitados. A la organización ADOPTA por el apoyo en logística para giras; a Action HUB+ en especial a Luis Rovira por su arduo trabajo en el 1^{er} Festival de la Salamandra. A los patrocinadores del festival una lista tan larga donde todos muy gentilmente nos apoyaron para que el 1^{er} festival se pudiera realizar: desde empresas privadas, gubernamentales y organizaciones que participaron y/o apoyaron con donaciones y a los voluntarios Ángel Romero, Macario González, Randy Rodríguez, Thomas Rodríguez, a cada una de las personas que apoyaron el festival; y muy especial a los expositores en el festival Katherine Mantazouris de Foundation for the Conservation of Salamandra (FSal), Marcos Ponce (BioConsultant), Jorge Guerrel (PARC). Este estudio fue financiado por la SENACYT, Panamá y parcialmente por la Fundación Los Naturalistas, UNACHI y el SNI-SENACYT.

Referencias

- AmphibianWeb. (2022). *AmphibiaWeb*. https://amphibiaweb.org/cgi/amphib_query?rel-isocc=like&orderbyaw=Order&where-isocc=Panama. Consultado el 26 de mayo de 2022.
- Autoridad Nacional del Ambiente de Panamá (ANAM). (2011). *Plan de acción para la conservación de los anfibios en Panamá. Dirección de áreas protegidas y vida silvestre*. <https://tinyurl.com/22yoxaxd>.

- Ayllon, E., Bustamante, P., Cabrera, F., Flox, L., Galindo, A., Gosálvez Rey, R., Hernandez, J., Morales, M., Torralvo, C., y Zamora Soria, F. (2005). *Problemas de conservación de anfibios y reptiles en la provincia de Ciudad Real. Boletín de la Asociación Herpetológica Española*, 15(2), 112-119. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1393160>.
- Barcenas García, M. G. (2017). *Percepciones ambientales de la población infantil en un destino turístico caso Reserva de la Biofera de la Mariposa Monarca*. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/65626>.
- Barreto Blanco, M. P. (2021). *Utilización de los anfibios como indicadores biológicos para evidenciar los niveles de contaminación en los ecosistemas colombianos*. <https://tinyurl.com/2bzswwgmj>
- Barsallo Pérez, L. L. (2001). *Propuesta de actividades de educación ambiental para la conservación del mono tití (Saimiri oerstedii) en Panamá*. [Masters Universidad de Panamá]. Vicerrectoría de Investigación y Postgrado. <http://up-rid.up.ac.pa/2806/>.
- Batista, A., Hertz, A., Köhler, G., y Vesely, M. (2014). *Morphological variation and phylogeography of frogs related to *Pristimantis caryophyllaceus* (Anura: Terrarana: Craugastoridae) in Panama*. *Salamandra*, 50(3), 155-171. <https://tinyurl.com/28h7zk57>.
- Betancur, E., y Cañón Barriga, J. E. (2016). *La ciencia ciudadana como herramienta de aprendizaje significativo en educación para la conservación de la biodiversidad en Colombia*. *Revista Científica en Ciencias Ambientales y Sostenibilidad*, 3(2). <https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/article/view/323236>.
- Borsellino, L. (2017). *El uso de la fotografía y la ciencia ciudadana como herramientas para la conservación de la biodiversidad*. *Revista Photo & Documento*, 3. <https://tinyurl.com/2avfldny>.
- Brito, D. (2008). *Amphibian conservation: Are we on the right track? Biological Conservation*, 141(11), 2912-2917. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.08.016>.
- Castro-Bastidas, H. A., y Serrano, J. M. (2022). *La Plataforma Naturalista como herramienta de ciencia ciudadana para documentar la diversidad de anfibios en el estado de Sinaloa, México*. *Revista Latinoamericana de Herpetología*, 5(1). <https://doi.org/10.22201/fc.25942158e.2022.1.372>
- Cedeño, F., Bermúdez, J., y Menacho, A. (2014). *Guía para la identificación de mamíferos y reptiles marinos de Panamá: Material práctico para la identificación de las principales especies avistadas en Panamá*. [Report]. Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá. <https://aquadocs.org/handle/1834/8352>.
- CITES. (2023). *Apéndices Conservación Internacional sobre el Tráfico de Especies en Peligro*. <https://cites.org/esp/app/appendices.php>.
- Corporación Autónoma Regional del Valle de Cauca.-CVC (2003). *Identificación de áreas prioritarias para la conservación de cinco ecorregiones en América Latina: GEF/1010-00-14 Ecorregión Chocó-Darién. Panamá—Colombia—Ecuador*. Centro de Datos para la Conservación - Colombia. <https://studylib.es/doc/7305568/identificación-de-areas-prioritarias-para-la> <https://tinyurl.com/254w2ppl>.
- De Meer, G., BG, Ng, K. Toelle, Tovey, E., y Marks, G. (2004). *Presence and timing of cat ownership by age 18 and the effect on atopy and asthma at age 28—ScienceDirect. Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 113(3), 433-438. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2003.10.008>.

- Díaz-García, J. M. (2020). *Servicios ecosistémicos de los anfibios en México: Un análisis de diversidad, distribución y conservación | Etnobiología*. 17(1), 49-60.
<https://tinyurl.com/253mvrbf>.
- Flores, E. E., Batista, A., Rodríguez, V., y Page, R. A. (2019). *Vicente's poison frog (Oophaga vicentei) in the wild: Calling activity, bioacoustics and diet. The Herpetological Bulletin*, 149, 11-17.
<https://doi.org/10.33256/hb149.1117>.
- Florez-Gonzalez, L., Avila, I. C., Capella Alzueta, J., Falk F., P., Felix, F., Giggons, J., Guzmán, H. M., Haase, B., Herrera C., J. C., Pena, V., Santillan, L., Tobon B., I. C., y Van Waerebeek, K. (2007). *Estrategia para la conservación de la ballena jorobada del Pacífico sudeste. Lineamientos para un plan de acción regional e iniciativas nacionales*.
<http://repository.si.edu/xmlui/handle/10088/11897>.
- Gómez-Hoyos, D., Méndez, J., González, E., Jiménez-Corrales, K., Fallas, R., Méndez, A., Cmacho-Durán, M. J., Jiménez, R., Seisdedos-de-Vergara, R., Sandi-Amador, H., Rojas, J., Porras, J., Schipper, J., y González-Maya, J., F. (2021). *Participatory research and conservation of threatened species in two wildlife protected areas of the Cotón River watershed, Costa Rica. UNED Research Journal*, 14(S1). <https://doi.org/10.22458/urj.v14iS1.3879>.
- Gómez-Hoyos, D., Méndez, J., González, E., Jiménez-Corrales, K., Fallas, R., Méndez, A., Méndez, R., Camacho-Duran, M., Jiménez, R., Seisdedos-de-Vergara, R., Sandi-Amador, H., Rojas, J., Porras, J., Schipper, J., y González-Maya, J. (2022). *Investigación participativa y conservación de especies amenazadas en dos áreas silvestres protegidas de la cuenca del río Cotón, Costa Rica. UNED Research Journal*, 14. <https://doi.org/10.22458/urj.v14iS1.3879>.
- Hanken, J., Wake, D. B., y Savage, J. M. (2005). *A solution to the large black salamander problem (Genus Bolitoglossa) in Costa Rica and Panamá. Copeia*, 2005(2), 227-245.
<https://doi.org/10.1643/CH-04-083R1>.
- Herrera Reyes, L., y Calixto Flores, R. (2010). *Estudio sobre las percepciones y la educación ambiental. Tiempo de Educar*, 1(22), 27-249.
- Hesselmar, B., Aberg, N., Aberg, B., Eriksson, B., y Björkstén, B. (1999). *Does early exposure to cat or dog protect against later allergy development. Clinical and Experimental Allergy*, 29(5), 611-617. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2222.1999.00534.x>.
- Hurtado Guerra, A., Santamaría, M., y Matallana-Tobón, C. L. (2013). *Plan de investigación y monitoreo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP)*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
<http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/32561>.
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2019). *Atelopus glyphus. The IUCN Red List of Threatened Species 2019*: E.T54514A49535891. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T54514A49535891.en>.
- IUCN SSC Amphibian Specialist Group. (2020a). *Atelopus varius. The IUCN Red List of Threatened Species 2020*: E.T54560A3016252. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T54560A3016252.en>.
- IUCN. (2023). *The IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN Red List of Threatened Species.
<https://www.iucnredlist.org/en>.
- Jaramillo, C., Ibáñez, R., y Johnson, J. (2010). *La herpetofauna de Panamá Distribución y estado de conservación*. 604-671.

- Juárez Jaramillo, E. (2018). *Psiquis poética en la observación de las mariposas y la magia del enamoramiento en el Mariposario del Valle de Antón* [Master] Universidad de Panamá, Panamá. <http://up-rid.up.ac.pa/1593/>.
- Lambertini, C., Becker, C. G., Jenkinson, T. S., Rodriguez, D., da Silva Leite, D., James, T. Y., Zamudio, K. R., y Toledo, L. F. (2016). *Local phenotypic variation in amphibian-killing fungus predicts infection dynamics*. *Fungal Ecology*, 20, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2015.09.014>.
- Lewis, C. H. R., Richards-Zawacki, C. L., Ibáñez, R., Luedtke, J., Voyles, J., Houser, P., & Gratwicke, B. (2019). *Conserving Panamanian harlequin frogs by integrating captive-breeding and research programs*. *Biological Conservation*, 236, 180-187. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.05.029>.
- Lips, K. R., Reaser, J. K., y Young, B. E. (1999). *El monitoreo de anfibios en América Latina: Un manual para coordinar esfuerzos*. <https://tinyurl.com/2dho8x9b>.
- McKinley, D. C., Miller-Rushing, A. J., Ballard, H. L., Bonney, R., Brown, H., Cook-Patton, S. C., Evans, D. M., French, R. A., Parrish, J. K., Phillips, T. B., Ryan, S. F., Shanley, L. A., Shirk, J. L., Stepenuck, K. F., Weltzin, J. F., Wiggins, A., Boyle, O. D., Briggs, R. D., Chapin III, S. F., ... Preuss, P. W. (2016). *Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection*. *Biological Conservation*, 208, 15-28. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.015>.
- Miranda, M., Quiroz, M., y Batista, A. (2020). *Protocolo de monitoreo para los anfibios*. Fundación Los Naturalistas, Panamá. www.losnaturalistas.com.
- Mohamed, J., E., M., y Cabo, H. (2011). *Sobre las diferencias de género en la percepción social del medio ambiente en estudiantes universitarios del campus de melilla*. Facultad de Educación y Humanidades. Campus de Melilla.
- Nieto Guerrero, L. I., Blanco Escobar, J. D., y Miranda-Redondo, R. J. (2018). *Decisión de compra o adopción del consumidor de mascotas del barrio Manuela Beltrán de Soledad (Atlántico)*. *Liderazgo Estratégico*, 8(1).
- Olsen, A., y Cossel, J. (2014). *Observations of a remnant population of the critically endangered hylid frog *Isthmohyla rivularis* on the Monteverde Cloud Forest Preserve, Costa Rica*. *Herpetological Review*, 45, 205-208. <https://ssarherps.org/herpetological-review-pdfs/>.
- Ortiz, O., Moreno de Niño, Y., Vargas-Cusatti, U., De la Luz Cabrera, V., y Lanuza-Garay, A. (2020). *Situación actual de las áreas protegidas en la provincia de Colón, Panamá: Macro descriptivo para una mejor gestión y manejo*. *Tecnociencia*, 22(2). <https://doi.org/10.48204/j.tecno.v22n2a8>.
- Peña, B., De Gracia, V., y Flores, E. (2016). *Oophaga vicentei* (Vicente's Poison Frog), Habitat use. *Herpetological Review*, 47.
- Programas de las Naciones Unidas para el ambiente (PNUMA) (2014). *Realizing the potential of citizen science*. *UNEP Year Book.: Vol. Capitulo 6*. Division of Early Warning and Assessment, UNEP,. <https://digitallibrary.un.org/record/794800>.
- Ponce, M., Navarro, D., Morales, R., y Batista, A. (2022). *A new salamander of the genus *Bolitoglossa* (Caudata: Pletodontidae) highlands of western Panama*. *Zootaxa*, 5129(4), 543-556. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5129.4.4>.
- Quiroz-Espinoza, M. (2019). *Preferencia de Hábitat y Conservación de *Atelopus glyphus*, Darién, Panamá* [Tesis de grado]. Universidad Autónoma de Chiriquí.

Quiroz-Espinoza, M., Miranda, M., y Batista, A. (2020). *Plan de educación ambiental: Anfibios en la escuela*. Fundación Los Naturalistas. <http://www.losnaturalistas.com>.

Resolución No. DM-0657-2016 (2016). *Ministerio de Ambiente. Gaceta Oficial 28187-A. Por la cual se establece el proceso para la elaboración y revisión periódica del listado de las especies de fauna y flora amenazadas de Panamá y se dictan otras disposiciones*. República de Panamá. <https://www.gacetaoficial.gob.pa/Busqueda>.

Rodríguez, C., Rollins-Smith, L. A., Ibañez, R., Durant-Archibold, A. A., y Gutiérrez, M. (2017). *Toxins and pharmacologically active compounds from species of the family Bufonidae (Amphibia, Anura)*. *Journal of Ethnopharmacology*, 198, 235-254. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.12.021>

Urbina-Cardona, J. N., Londoño-Murcia, M. C., y García-Ávila, D. G. (2008). *Spatio-temporal dynamics of snake diversity in four habitats with different degrees of anthropogenic disturbance in the Gorgona Island National Natural Park in the Colombian Pacific*. *Caldasia*, 30(2), 479-493. <https://tinyurl.com/2axmj4fc>.

Valencia, L. M., & Fonte, L. F. M. (2021). *Harlequin Toad (Atelopus) Conservation Action Plan (2021-2041)*. *Atelopus Survival Initiative*, 52. <https://es.atelopus.org/the-initiative>.

Wake, D. B., Savage, J. M., y Hanken, J. (2007). *Montane salamanders from the Costa Rica–Panamá border region, with descriptions of two new species of Bolitoglossa*. *Copeia*, 2007(3), 556-565. [https://doi.org/10.1643/0045-8511\(2007\)2007\[556:MSFTCR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1643/0045-8511(2007)2007[556:MSFTCR]2.0.CO;2).

Wake, D. B., y Vredenburg, V. T. (2008). *Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (supplement_1), 11466-11473. <https://doi.org/10.1073/pnas.0801921105>.

Yound, B. E., Start, S. N., Chanson, J. S., Cox, N. A., y Boucher, T. M. (2004). *Joyas que están desapareciendo: El estado de los Anfibios en el nuevo mundo*. NatureServe, Arlington, Virginia.

Anexos

Tabla 1. Registro de especies de anfibios encontrados por comunidad, tipo de registro, y categorías de conservación

Orden	Familia	Especie	Comunidad				Cantidad	Tipo de Registro			Categoría de Conservación		
			Boquete	Santa Fe	Achiote	Pijibasal		Monitoreo	Fortuito	iNaturalist	UICN	CITES	MIAMBIENTE
Anura	Bufonidae	<i>Atelopus glyphus</i>	0	0	0	1	1	0	1	0	CR	-	CR
		<i>Atelopus varius</i>	0	1	0	0	1	1	0	0	CR	I	CR
		<i>Incilius coniferus</i>	0	1	0	0	1	0	0	1	LC	-	-
		<i>Incilius epioticus</i>	4	0	0	0	4	0	3	1	VU	-	-
		<i>Rhaebo haematiticus</i>	0	30	4	0	34	17	1	5	LC	-	-

Orden	Familia	Especie	Comunidad				Cantidad	Tipo de Registro			Categoría de Conservación		
			Boquete	Santa Fe	Achiote	Pijibasal		Monitoreo	Fortuito	iNaturalist	UICN	CITES	MIAMBIENTE
			<i>Rhinella alata</i>	0	0	19		0	19	14	5	0	DD
<i>Rhinella horribilis</i>	10	20	7	0	37	7	4	37	LC	-	-		
Centrolenidae	<i>Espadarana prosoblepon</i>	10	0	2	0	12	10	1	1	LC	II	-	
	<i>Sachatamia albomaculata</i>	0	2	0	0	2	0	0	2	LC	II	-	
	<i>Hyalinobatrachium tatayoi</i>	0	0	6	0	6	6	0	0	NT	II	-	
Craugastoridae	<i>Craugastor crassidigitus</i>	0	2	0	0	2	1	0	1	LC	-	-	
	<i>Craugastor fitzingeri</i>	3	18	12	2	35	29	1	5	LC	-	-	
	<i>Craugastor gabbi</i>	4	0	0	0	4	0	4	0	LC	-	-	
	<i>Craugastor monnichorum</i>	14	0	0	0	14	12	0	2	EN	-	VU	
	<i>Craugastor podiciferus</i>	27	0	0	0	27	21	1	5	LC	-	-	
	<i>Pristimantis caryophyllaceus</i>	4	1	0	0	5	0	3	2	LC	-	-	
	<i>Pristimantis cerasinus</i>	0	6	0	0	6	4	0	2	LC	-	-	
	<i>Pristimantis cruentus</i>	2	2	0	0	4	0	0	4	LC	-	-	
	<i>Pristimantis pardalis</i>	0	1	0	0	1	0	0	1	LC	-	-	
	<i>Pristimantis ridens</i>	0	1	0	0	1	0	0	1	LC	-	-	
<i>Pristimantis taeniatus</i>	1	0	0	0	1	0	0	1	LC	-	-		
Dendrobatidae	<i>Allobates talamancae</i>	0	2	0	0	2	2	0	0	LC	-	-	
	<i>Dendrobates auratus</i>	0	1	22	0	23	14	8	1	LC	II	VU	
	<i>Oophaga vicentei</i>	0	1	0	0	1	0	1	0	EN	II	VU	
	<i>Silverstoneia flotator</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	LC	-	-	
Eleuthero	<i>Diasporus citrinobapheus</i>	0	12	0	0	12	9	0	3	LC	-	-	

Orden	Familia	Especie	Comunidad				Cantidad	Tipo de Registro			Categoría de Conservación		
			Boquete	Santa Fe	Achiote	Pijibasal		Monitoreo	Fortuito	iNaturalist	UICN	CITES	MIAMBIENTE
Anura	Diasporidae	<i>Diasporus diastema</i>	0	0	31	0	31	20	11	0	LC	-	-
		<i>Diasporus hylaeformis</i>	23	0	0	0	23	6	15	2	LC	-	-
	Hylidae	<i>Agalychnis callidryas</i>	2	30	4	0	36	27	0	9	LC	II	-
		<i>Boana rufitela</i>	0	0	1	0	1	0	0	1	LC	-	-
		<i>Dendropsophus ebraccatus</i>	0	0	4	0	4	4	0	0	LC	-	-
		<i>Dendropsophus microcephalus</i>	0	0	2	0	2	2	0	0	LC	-	-
		<i>Ecnomiohyla fimbrimembra</i>	1	0	0	0	1	0	1	0	VU	-	EN
		<i>Hyloscirtus palmeri</i>	0	1	0	0	1	0	0	1	LC	-	VU
		<i>Isthmohyla picadoi</i>	11	0	0	0	11	0	11	0	LC	-	VU
		<i>Isthmohyla rivularis</i>	5	0	0	0	5	3	1	1	EN	-	CR
		<i>Isthmohyla zeteki</i>	1	0	0	0	1	0	1	0	VU	-	-VU
		<i>Scinax rostratus</i>	0	0	1	0	1	0	1	0	LC	-	-
		<i>Smilisca phaeota</i>	5	13	5	0	23	13	3	7	LC	-	-
		<i>Smilisca sila</i>	8	12	0	0	20	12	0	8	LC	-	-
		<i>Smilisca sordida</i>	0	2	0	0	2	0	0	2	LC	-	-
		<i>Trachycephalus typhonius</i>	0	1	1	0	2	0	2	0	LC	-	-
	Lectodactylidae	<i>Engystomops pustulosus</i>	2	7	3	0	12	8	0	4	LC	-	-
		<i>Leptodactylus fragilis</i>	0	0	2	0	2	2	0	0	LC	-	-
		<i>Leptodactylus savagei</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	LC	-	-
	Ranidae	<i>Lithobates taylori</i>	0	25	0	0	25	25	0	0	LC	-	-
<i>Lithobates warszewitschii</i>		0	3	0	0	3	2	0	1	LC	-	-	
Caudata	Plethodontidae	<i>Bolitoglossa magnifica</i>	127	0	0	0	127	126	0	1	EN	-	VU
		<i>Bolitoglossa minutula</i>	4	0	0	0	4	4	0	0	EN	-	VU
		<i>Oedipina parvipes</i>	0	0	1	0	1	0	1	0	LC	-	VU
Totales			268	195	129	3	595	403	80	112			

Cumplimiento de normas éticas de investigación en las tesis de Maestrías en Biología elaboradas en la Universidad Autónoma de Chiriquí

Compliance with ethical research norms in Master's thesis in Biology elaborated at the Universidad Autónoma de Chiriquí

Luis Manuel Vargas Jiménez¹

<https://orcid.org/0000-0002-9683-7547>

¹Universidad Autónoma de Chiriquí. Centro de Investigación de Cultivo de Tejidos Vegetales, Panamá

Autor correspondiente: luis.vargas1@unachi.ac.pa

Enviado el 31 de enero de 2023. Aceptado el 22 de marzo de 2023.

Resumen

En esta investigación se revisó el cumplimiento de normas éticas de investigación en 41 tesis de Maestrías en Biología elaboradas en la Universidad Autónoma de Chiriquí (Panamá) de 2002 a 2018. El instrumento de medición fue una lista de verificación de ocho criterios, basados en principios éticos de la investigación establecidos en normas éticas nacionales e internacionales vigentes. Las tesis estudiadas fueron éticamente deficientes en forma global con 24,3 % de cumplimiento de normas éticas de investigación. Ninguno de los ocho criterios evaluados alcanzó el nivel de éticamente "excelente". Considerando los sujetos de estudio, 32,7 % de las tesis hechas en sujetos humanos, presentó buen cumplimiento de normas éticas; mientras que fueron deficientes, las tesis hechas en sujetos no humanos (23,3 %). Los criterios mejor evaluados en tesis hechas utilizando sujetos humanos fueron: "validez científica" (79,1 %), "valor social": (56,2 %), "selección justa de sujetos participantes" (53,1 %) y "revisión del consentimiento informado" (48,7 %); los peor evaluados fueron: "compromisos del autor" (28,9 %), "respeto a los participantes" (16,2 %), "balance favorable riesgo-beneficio" (16,2 % y "revisión independiente" (10,4 %). Los criterios mejor evaluados en tesis hechas utilizando sujetos no humanos, fueron: "validez científica" (75,4 %), "valor social": (45,4 %), "selección justa de sujetos participantes" (40,5 %); mientras que los peor evaluados, fueron: "compromisos del autor" (27,2 %), "balance favorable riesgo-beneficio" (22,2 %), "revisión independiente" (11,9 %), "respeto a los participantes" (2,7 %) y "revisión del consentimiento informado" (1,3 %). La falta de comité de ética de investigación institucional y la no obligatoriedad de someter a normas éticas las tesis de Maestrías en Biología; afecta el nivel de cumplimiento de normas éticas en las tesis estudiadas.

Palabras clave: cumplimiento de normas éticas, tesis de maestría, Universidad Autónoma de Chiriquí

Abstract

In this research, compliance with ethical research standards was reviewed in 41 Master's theses in Biology prepared at the Autonomous University of Chiriquí (Panama) from 2002 to 2018. The measurement instrument was a checklist of 8 criteria, based on principles ethics of research established in current national and international ethical standards. The theses studied were ethically deficient overall with 24.3 % compliance with ethical research standards. None of the eight criteria evaluated

reached the level of ethically "excellent". Considering the study subjects, 32.7 % of the theses made on human subjects presented good compliance with ethical standards; while the theses made in non-human subjects (23.3 %) were deficient. The best evaluated criteria in theses made using human subjects were: "scientific validity" (79.1 %), "social value": (56.2 %), "fair selection of participating subjects" (53.1 %) and "review of informed consent" (48.7 %); the worst evaluated were: "author's commitments" (28.9 %), "respect for the participants" (16.2 %), "favorable risk-benefit balance" (16.2 % and "independent review" (10, 4 %). The best evaluated criteria in theses made using non-human subjects were: "scientific validity" (75.4 %), "social value": (45.4 %), "fair selection of participating subjects" (40, 5 %); while the worst evaluated were: "author's commitments" (27.2 %), "favorable risk-benefit balance" (22.2 %), "independent review" (11.9 %), "respect participants" (2.7 %) and "review of informed consent" (1.3 %). The lack of an institutional research ethics committee and the non-obligation to submit Master's theses in Biology to ethical standards; affects the level of compliance with ethical standards in the theses studied.

Key words: compliance with ethical standards, master's thesis.

Introducción

Las tesis constituyen un requisito para finalizar una carrera universitaria, a nivel de grado como de posgrado; su objetivo es lograr conocimientos generalizables. La importancia de las tesis es resaltada por Encalada-Díaz (2016) al considerar que ellas consisten en un trabajo de investigación realizado para ampliar o profundizar en un área del conocimiento humano aportando alguna una novedad o una revisión crítica mediante la utilización de métodos científicos. Piedra-Salomón & Martínez-Rodríguez (2007) añaden que las tesis expresan conocimientos resultantes de la investigación científica en determinada área del saber, perteneciente o no al ámbito académico, publicado o inédito; contribuyendo al desarrollo de la ciencia como actividad social.

Las tesis en el campo de las ciencias biológicas, así como en otras ciencias forman parte de las líneas del conocimiento en la investigación científica de nuestros días; ya que "han impulsado el desarrollo en todos los ámbitos del quehacer humano: nuevos fármacos, vacunas, cirugía especializada, diagnóstico y prevención de enfermedades en humanos, plantas y animales, nuevas cepas de organismos vivos de uso agrícola, ganadero y forestal, reparación del medio ambiente" (Becerra, 1998).

Actualmente estamos en la etapa de la ciencia posmoderna, la que ha presentado rápidos avances en la segunda mitad del siglo XX; provocando que disciplinas como la Biología y la Medicina pasen de ciencias descriptivas y curativas a herramientas de control ambiental y manipulación de la vida humana. Surge

entonces, el desafío de la búsqueda del bien para la humanidad y el ecosistema, ahora con nuevos problemas éticos, que no puede resolver la ética tradicional (Nézer de Landaeta, 2002; Sánchez y Javaloyes, 2011).

La primera mención del término Bioética se debe a Fritz Jahr en 1927, en su artículo Bio-ética: una perspectiva de la relación ética de los seres humanos con los animales y plantas; en donde manifiesta su preocupación y obligaciones resultantes de la interrelación de los humanos con sus semejantes y los demás seres vivos del planeta. Este concepto, no era nuevo, sin embargo, permaneció poco desarrollado hasta 1970 cuando Van Rensselaer Potter resucitó el término bioética en su libro Bioética: un puente hacia el futuro. Este resurgimiento se da ante el peligro de que la vida quede a merced de los avances tecnocientíficos, en la búsqueda por orientar moralmente a la sociedad y en respuesta a la necesidad de un humanismo científico (Lima y Cambra, 2013; Cely et al. 2005; Rawlinson, 2015; Potter, 1970).

Algunas regulaciones internacionales establecidas para orientar la aplicación de la bioética en la investigación científica son: el Código de Nüremberg de 1947, la Declaración de Helsinki de 1964, el Informe de Belmont de 1979, la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos de 2005 y las Pautas Éticas Internacionales para la Investigación Relacionada con la Salud en Seres Humanos de 2016. Estas regulaciones han sido acogidas paulatinamente por cada país interesado; ellas conducen al establecimiento de leyes y reglamentaciones regionales, permaneciendo el interés de lograr procedimientos comunes para lograr y aplicar el conocimiento científico de manera ética.

En Panamá es incipiente el establecimiento de normas para la investigación a nivel universitario; a este respecto, Rowe (2005) establece que de las 37 universidades existentes (4 públicas y 33 privadas), solo tres de las cuatro universidades públicas presentan un marco normativo de investigación, en las universidades privadas no se presenta este marco normativo. En la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI) existe un Reglamento de Investigación aprobado mediante Consejo Académico N° 9-2015; el cual se deriva del Estatuto Universitario y el artículo 5 de la ley 4 de 2006 (UNACHI, 2015).

El aspecto ético de las investigaciones está regulado a nivel nacional en Panamá por Ley 84 de 2019 que regula investigación en las ciencias de la salud; pero a nivel universitario no hay códigos de ética para la

investigación. El decreto ejecutivo N° 246 de 2004 establece un código de ética general para los servidores públicos a nivel nacional, pero no profundiza sobre el tema de la investigación.

El primer Comité de Bioética en la Investigación en Panamá fue creado en 1999, mediante la Resolución 201 el Gobierno Nacional de Panamá (1999); como una entidad responsable de la evaluación ética de los estudios de investigación clínica realizadas en las instalaciones de las Regiones del Sistema Nacional de Salud en Panamá. Este comité estaba adscrito al Instituto Conmemorativo Gorgas de Estudios de la Salud (ICGES). El Comité Nacional de Bioética de la Investigación fue reglamentado por el Gobierno Nacional de Panamá (2012) doce años después de su formación, mediante Decreto Ejecutivo 1110 de 2012. Separándolo del ICGES y adscribiéndolo a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología en Investigación; enfatizando entre sus funciones la revisión de protocolos relacionados con la salud pública y la investigación clínica. Mediante Decreto Ejecutivo 1843 de 2014, se establece el nombre actual de Comité Nacional de Bioética de la Investigación de Panamá (CNBI), adscribiéndolo al Ministerio de Salud y conservando su autonomía funcional (Gobierno Nacional de Panamá, 2013; Gobierno Nacional de Panamá, 2014; Gobierno Nacional de Panamá, 2015).

Las últimas adiciones a las regulaciones sobre el CNBI se dieron a través de la Ley 84; mediante la cual el Gobierno Nacional de Panamá (2019) regula y promueve la investigación en la salud. En esta ley se establece que el CNBI promueve, acredita, evalúa y supervisa los comités de bioética de la investigación, tanto en el sector público como en el privado; y solo evalúa protocolos relacionados con investigaciones en los cuales los sujetos participantes pertenecen a las comunidades indígenas y los relacionados con la investigación clínica de células madre. Queda establecido que todas las investigaciones con participantes humanos deben obtener aprobación ética por parte de algún comité de bioética de la investigación institucional acreditado; no se considera la obligatoriedad de someter a aprobación de este comité a investigaciones en donde no hay sujetos humanos como objetos de prueba o estudio.

En la UNACHI, mediante Consejo Académico N° 35-2011 de 2011, se estableció el código de ética para la ejecución de la carrera docente; en el cual se menciona de manera general el desempeño ético de los docentes en la investigación. Además, se aprobó el Reglamento del Comité de Bioética, mediante Consejo Académico 8-2019 de 2019.

Todos los aspectos relacionados con las maestrías, incluidas las tesis, están regulados en la UNACHI (2019) por el Reglamento General de Estudios de Posgrado de esta universidad; en el cual no se desarrolla el aspecto ético implicado en la elaboración de tesis. Además, el Reglamento de Trabajos de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrados (UNACHI, 2021) introduce el requisito de la aprobación de un Comité de Bioética cuando el tema de la tesis así lo requiera; sin embargo, aún no se ha nombrado de manera oficial el Comité de Bioética Institucional. En ninguno de los reglamentos de posgrados de la UNACHI se establece la obligatoriedad de incluir en los planes de estudio cursos de Metodología de la Investigación, Ética o Bioética; cada programa toma la decisión sobre que cursos colocar en los planes de estudio, generalmente se decide por Metodología de la Investigación. El área de las Ciencias de la Salud es la que generalmente toma en cuenta incluir en sus cursos o seminarios temas de Bioética.

El Comité Nacional de Bioética de la Investigación de Panamá (2023), reporta el funcionamiento de doce comités institucionales: nueve en hospitales e institutos relacionados con la salud y sólo tres en universidades. Por lo tanto, son escasos los Comités de Ética de la Investigación que puedan verificar en las instituciones universitarias si se siguen los lineamientos éticos nacionales e internacionales durante la elaboración de las tesis de grado o posgrado. Las universidades que carecen de comité de ética regulan la elaboración de las tesis en base a sus propios estatutos, reglamentos generales y un código de ética institucional; pero no evalúan los niveles de integración de normas éticas en las investigaciones que conducen en estas entidades. Esta carencia de comités de ética propios causa que en investigaciones financiadas o respaldadas por entidades externas a las universidades se busque la certificación de comités de ética de otras instituciones que sí los tienen.

No hay estudios que determinen el grado de apego de las tesis de Maestrías de Biología de la UNACHI a la normatividad bioética nacional e internacional, por lo que se busca contribuir al llenar este vacío de conocimiento mediante la valoración de la integración de normas éticas de investigación durante la elaboración de las tesis desde la perspectiva de la hermenéutica bioética. Los resultados de esta investigación están dirigidos a la comunidad universitaria para el logro de la enseñanza de un marco ético basado en los principios bioéticos de los derechos humanos y a la vez dirigir la elaboración de las tesis al objeto social de la ciencia; contribuyendo a mejorar la formación integral de los estudiantes del

programa de Maestría en Biología, objeto de este estudio por ser el programa más antiguo y con mayor cantidad de egresados en la Facultad de Ciencias Naturales en la UNACHI.

Materiales y Métodos

En este trabajo se revisó las 41 tesis de Maestría en Biología elaboradas durante el periodo de 2016 a 2018 en la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI). Las tesis revisadas están depositadas en la biblioteca de la Facultad de Ciencias Naturales y Exactas de la UNACHI y pueden ser consultadas por la población universitaria y el público en general. Se utilizó la investigación cualitativa, mediante el estudio observacional y el método hermenéutico orientado al análisis del contenido de los documentos analizados, desde la perspectiva hermenéutica bioética. El estudio es descriptivo y retrospectivo.

La revisión de las tesis de Maestría en Biología se dirigió a determinar los niveles de cumplimiento de normas éticas durante el proceso de investigación para elaborar estas tesis. El instrumento de registro de datos para cada tesis fue una lista de verificación y la escala valorativa para los datos, la escala para analizar los datos fue elaborada por el autor y validada por revisores externos pertenecientes al Instituto de Investigaciones en Bioética de México. El instrumento de registro de datos incluyó los siguientes criterios:

1. Revisión del consentimiento informado: documento de aceptación del sujeto investigado o responsable (en sujetos no humanos entidad responsable de preservar el organismo o recurso natural investigado emite el documento)
2. Respeto a los participantes: seguimiento de prácticas que garanticen derechos o integridad el sujeto investigado
3. Balance favorable riesgo-beneficio: garantías de nivel mayor de beneficios con respecto a posibles daños
4. Selección justa de sujetos participantes: igual oportunidad de participación de todos los sujetos de prueba
5. Compromisos del autor: seguimiento adecuado de un protocolo de investigación por el investigador
6. Valor Social: beneficios de la investigación para la sociedad

7. Validez científica: uso correcto del método científico
8. Revisión independiente: revisión del protocolo por algún tipo de comité o entidad diferente a la coordinación de las Maestrías en Biología

Cada criterio evaluado incluyó indicadores de logros (ausencia, mención de cumplimiento en el texto, explicación de cumplimiento en el texto, evidencia escrita en anexos), evaluados en una escala de 0 a 4 puntos; el puntaje máximo alcanzable en cada lista de verificación fue de 148 puntos, el total de puntos alcanzable para las 41 tesis revisadas fue de 6,068 puntos. La escala de valoración porcentual del cumplimiento de normas ética fue: Excelente: 76-100 % (cumplimiento de normas éticas ideal), Suficiente: 51-75 % (cumplimiento de normas éticas satisfactorio), Bueno: 26-50 % (mínimo cumplimiento de normas éticas considerado como aceptable), Deficiente: 25-0 % (cumplimiento deficiente de normas éticas).

La lista de verificación utilizada fue elaborada tomando en cuenta normas éticas internacionales establecidas para lograr en las investigaciones la protección de la dignidad humana, en otros seres vivos y en los elementos no vivos de los ecosistemas terrestres; tales como: el Código de Nüremberg (1947), la Declaración de Helsinki emitida por la de la Asociación Médica Mundial (1964), Informe de Belmont (1979), la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos (2005), las Pautas Éticas Internacionales para la Investigación Relacionada con la Salud en Seres Humanos (2017), el Protocolo de Nagoya (2014) y el Convenio de diversidad Biológica (1992).

Las evidencias físicas buscadas para determinar los niveles de cumplimiento de normas éticas durante el proceso de investigación para elaborar estas tesis fueron:

- *Evidencias de consentimiento informado
- *Evidencias de la revisión de algún comité o equipo revisor de aspectos éticos en la investigación
- *Evidencia de presentación de declaración o compromisos éticos escritos por parte del autor
- *Evidencias procedimentales del cumplimiento de normas éticas en el manejo de sujetos de prueba (medidas de protección para la seguridad de los participantes, y para evitar daños en la población o ecosistemas)
- *Evidencias procedimentales del manejo ético de las muestras y resultados experimentales
- *Evidencias de la certificación de laboratorios, equipo y materiales usados en la investigación

***Planteamiento de beneficios para los participantes y la sociedad.**

El análisis de los datos se realizó en primera instancia de manera global, tomando en cuenta todas las tesis. Luego se realizó el análisis separando las tesis hechas usando sujetos humanos de las tesis hechas en sujetos no humanos; con el objetivo de reducir los sesgos por las diferencias entre las maestrías y los sujetos estudiados.

Para la obtención de la información analizada en este estudio aplicó un consentimiento informado para la institución que resguarda las tesis usadas en el estudio, el cual fue firmado por la rectora de la UNACHI. Este consentimiento informado institucional garantizó el anonimato de los autores de las tesis (sólo se muestran datos globales; los datos están codificados numéricamente, son manejados solo por el investigador). Esta investigación solo tomó datos en la UNACHI, el protocolo de investigación fue revisado y aprobado por el Comité de Ética de la Investigación del Instituto de Investigaciones en Bioética de México.

Resultados

Características generales de las tesis de Maestría en Biología

La revisión de general de las tesis estudiadas permitió determinar que la UNACHI ha ofrecido tres programas de Maestría en Biología durante el periodo 2002 a 2018; los cuales no han sido continuos y difieren en la cantidad de promociones desarrolladas y en la cantidad de tesis elaboradas por sus egresados. Estos programas de maestría son:

- Maestría en Biología con dos promociones (2002 y 2004)
- Maestría en Biología con Especialización en Biología Vegetal con tres promociones (2008, 2010 y 2016)
- Maestría en Microbiología Ambiental con una promoción (2012)

La mayor cantidad de tesis elaboradas durante el periodo estudiado corresponde a la Maestría en Biología con Especialización en Biología Vegetal (48,8 %) seguida de la Maestría en Biología (29,2 %) y la menor cantidad de tesis fue elaborada en la Maestría en Microbiología Ambiental (22 %).

Los temas de las tesis son variados: 43,9 % se refiere a Ecología, 24,4 % a Microbiología y el 14,6 % a Farmacología. El resto de los temas: Botánica Económica, Taxonomía y Fisiología Vegetal, totalizan el 17 % (tabla 1). No hay reglas para seleccionar los temas de tesis, el estudiante los escoge libremente o busca orientación de un asesor para escoger el tema de su interés.

Tabla 1. Temas de tesis por Programas de Maestrías en Biología, Universidad Autónoma de Chiriquí. 2002 a 2018

Tema de tesis	Programa de Maestría						Totales	
	Biología		Biología Vegetal		Microb Ambiental			
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Ecología	3	7,3	13	31,7	2	4,9	18	43,9
Botánica Económica	0	0	1	2,4	0	0	1	2,4
Taxonomía	3	7,3	1	2,4	0	0	4	9,8
Fisiología Vegetal	0	0	2	4,9	0	0	2	4,8
Farmacología	0	0	2	4,9	4	9,8	6	14,6
Parasitología	6	14,6	1	2,4	3	7,3	10	24,4
Total	12	29,2	20	48,7	9	22	41	100

Cumplimiento global de normas éticas en las tesis de Maestrías en Biología, desde la perspectiva de la hermenéutica bioética

Las tesis de Maestrías en Biología de la UNACHI estudiadas presentaron un nivel global deficiente en el cumplimiento de normas éticas (24,3 %); al analizar los programas en forma individual, las tesis del programa de Maestría en Biología fueron las únicas en lograr una evaluación éticamente buena (26 %); las tesis de los programas de Maestría en Biología con Especialización en Biología Vegetal (23,9 %) y Microbiología Ambiental (23 %) resultaron éticamente deficientes. Ninguna tesis resultó éticamente excelente o suficiente (tablas 2 y 3).

Cumplimiento global de normas éticas en las tesis de Maestrías en Biología, desde la perspectiva de la hermenéutica bioética; atendiendo al sujeto de estudio

En el 90,2 % de las tesis se estudió sujetos no humanos (seres vivos y el ambiente relacionado con ellos), mientras que en el 9,8 % se estudió sujetos humanos, específicamente en las áreas de Parasitología y Botánica Económica (tablas 1 y 4).

El cumplimiento global de las normas éticas durante la investigación para la elaboración de las tesis de Maestría en Biología, considerando el sujeto de estudio, fue bueno (32,7 %) para las tesis realizadas estudiando sujetos humanos. Mientras que fue deficiente (23,3 %) para las tesis realizadas con sujetos no humanos que resultaron (tabla 4).

Tabla 2. Valoración de criterios de cumplimiento global de normas éticas en las tesis de Programas de Maestrías en Biología, Universidad Autónoma de Chiriquí. 2002 a 2018. Escala usada: Excelente (76-100%), suficiente (75-51%), bueno (26-50%), deficiente (25-0%)

Criterios de valoración ética	Puntaje obtenido por criterio evaluado en cada Programa de Maestría								Puntajes de referencia		
	Biología (12 tesis)		Biología Vegetal (20 tesis)		Microbiol Ambiental (9 tesis)		Total (41 tesis)		En cada tesis	En 41 tesis	
	Cant	%	Cant	%	Cant	%	Cant	%			
Compromisos éticos adjuntos a las tesis	Revisión del consentimiento informado (criterio 1)	27	3.3	12	1.5	10	1.2	49	6	20	820
	Respeto a los participantes (criterio 2)	18	2.2	11	1.3	4	0.5	33	4	20	820
	Balance favorable riesgo-beneficio (criterio 3)	63	7.7	91	11.1	24	2.9	178	21.7	20	820
	Selección justa de sujetos participantes (criterio 4)	41	12.5	69	21	27	8.2	137	41.8	8	328
Aspectos éticos en el contenido de las tesis	Compromisos del autor (criterio 5)	106	8.1	172	13.1	82	6.2	360	27.4	32	1312
	Valor social (criterio 6)	63	12.8	114	23.2	52	10.6	229	46.5	12	492
	Validez científica (criterio 7)	108	22	180	36.6	85	17.3	373	75.8	12	492
	Revisión independiente (criterio 8)	36	3.7	58	5.9	22	2.2	116	11.8	24	984
Totales		462		707		306		1,475	24.3	148	6,068

Tabla 3. Evaluación global del cumplimiento de normas éticas en las tesis de Programas de Maestrías en Biología. Universidad Autónoma de Chiriquí, 2002 a 2018. Escala usada: Excelente (76- 100%), suficiente (75-51%), bueno (26-50%), deficiente (25-0%)

Programa de Maestría	Total de tesis	Puntos totales por programa	Puntos totales alcanzables	% alcanzado	Evaluación ética
Biología	12	462	1776	26	Bueno
Biología Vegetal	20	707	2960	23,9	Deficiente
Microbiología Ambiental	9	306	1332	23	Deficiente
Totales	41	1475	6068	24,3	Deficiente

Cumplimiento de Criterios de compromisos éticos adjuntos a las tesis, atendiendo al sujeto de estudio

El cumplimiento global de los cuatro criterios de compromisos éticos adjuntos a las tesis del Programa de Maestrías en Biología, en base a los sujetos humanos fue bueno (30,1 %). Individualmente, el criterio de selección justa de sujetos participantes fue suficiente (53,1 %), el criterio de revisión del consentimiento informado fue bueno (48,8 %), mientras los criterios de respeto a los participantes y balance favorable riesgo-beneficio fueron deficientes (16,2 %). El cumplimiento global de los cuatro criterios de compromisos éticos adjuntos a las tesis del Programa de Maestrías en Biología, en base a los sujetos no humanos fue deficiente (12,5 %). Individualmente solo el criterio selección justa de sujetos participantes fue bueno (40,5 %). Mientras que los tres criterios restantes fueron deficientes (balance favorable riesgo-beneficio: 22,2 %, respeto a los participantes: 2,7 % y revisión del consentimiento informado: 1,3 % (tabla 5). La forma de valoración de cada criterio está explicada en la sección de materiales y métodos de este artículo.

Cumplimiento Criterios de aspectos éticos en el contenido de las tesis

El cumplimiento global de los cuatro criterios de aspectos éticos en el contenido las tesis del Programa de Maestrías en Biología, en base a los sujetos humanos fue bueno (35 %). Individualmente, el criterio de validez científica fue excelente (79,1 %), el criterio de valor social fue suficiente (56,2 %), mientras el criterio de compromisos del autor fue bueno (28,9 %) y el criterio de revisión independiente fue deficiente (10,4 %).

El cumplimiento global de los cuatro criterios de aspectos éticos en el contenido de las tesis del Programa de Maestrías en Biología, en base a los sujetos no humanos fue suficiente (75,4 %). Individualmente, el criterio de validez científica fue suficiente (75,4 %), los criterios de valor social (45,4 %) y compromisos del autor fueron buenos (27,2 %), mientras el criterio de revisión independiente fue deficiente (11,9 %, tabla 6).

Tabla 4. Evaluación global del cumplimiento de normas éticas de acuerdo con el sujeto de estudio en las tesis de los Programas de Maestrías en Biología. Universidad Autónoma de Chiriquí, 2002 a 2018. Escala usada: Excelente (76-100%), suficiente (75-51%), bueno (26-50%), deficiente (25-0%)

Criterios de valoración ética		Puntaje obtenido en las tesis de acuerdo con el sujeto de estudio					
		Sujetos humanos (4 tesis = 9,8%)			Sujetos no humanos (37 tesis = 90,2%)		
		Ptos máximo total	Ptos obtenidos	%	Ptos máximo total	Ptos obtenidos	%
Compromisos éticos adjuntos a las tesis	Revisión del consentimiento informado (criterio 1)	80	39	48.7	740	10	1.3
	Respeto a los participantes (criterio 2)	80	13	16.2	740	20	2.7
	Balance favorable riesgo-beneficio (criterio 3)	80	13	16.2	740	165	22.2
	Selección justa de sujetos participantes (criterio 4)	32	17	53.1	296	120	40.5
Aspectos éticos en el contenido de las tesis	Compromisos del autor (criterio 5)	128	37	28.9	1184	323	27.2
	Valor social (criterio 6)	48	27	56.2	444	202	45.4
	Validez científica (criterio 7)	48	38	79.1	444	335	75.4
	Revisión independiente (criterio 8)	96	10	10.4	888	106	11.9
Totales obtenidos		592	194	32.7	5476	1281	23.3

Tabla 5. Cumplimiento global de los criterios de compromisos éticos adjuntos a las tesis de Programas de Maestrías en Biología, atendiendo al sujeto de estudio. Universidad autónoma de Chiriquí, 2002 a 2018. Escala usada: Excelente (76-100%), suficiente (75-51%), bueno (26-50%), deficiente (25-0%)

Criterios de valoración: compromisos éticos adjuntos a las tesis	Puntaje obtenido por criterio en las tesis de acuerdo con el sujeto de estudio					
	Sujetos humanos (4 tesis)			Sujetos no humanos (37 tesis)		
	Ptos máximo total	Ptos obtenidos	%	Ptos máximo total	Ptos obtenidos	%
Revisión del consentimiento informado (criterio 1)	80	39	48,8	740	10	1,3
Respeto a los participantes (criterio 2)	80	13	16,2	740	20	2,7
Balance favorable riesgo-beneficio (criterio 3)	80	13	16,2	740	165	22,2
Selección justa de sujetos participantes (criterio 4)	32	17	53,1	296	120	40,5
Totales obtenidos	272	82	30,1	2516	315	12,5

Tabla 6. Cumplimiento global de los criterios de aspectos éticos en el contenido de las tesis de Programas de Maestrías en Biología, atendiendo al sujeto de estudio. Universidad Autónoma de Chiriquí, 2002 a 2018. Escala usada: Excelente (76-100%), suficiente (75-51%), bueno (26-50%), deficiente (25-0%)

Criterios de valoración: aspectos éticos en el contenido de las tesis	Puntaje obtenido por criterio en las tesis de acuerdo al sujeto de estudio					
	Sujetos humanos (4 tesis)			Sujetos no humanos (37 tesis)		
	Ptos máximo total	Ptos obtenidos	%	Ptos máximo total	Ptos obtenidos	%
Compromisos del autor (criterio 5)	128	37	28,9	1184	323	27,2
Valor social (criterio 6)	48	27	56,2	444	202	45,4
Validez científica (criterio 7)	48	38	79,1	444	335	75,4
Revisión independiente (criterio 8)	96	10	10,4	888	106	11,9
Totales obtenidos	320	112	35	2960	966	32,6

Discusión

La revisión de 41 tesis elaboradas en los Programas de Maestrías en Biología de la UNACHI, durante el periodo 2002 a 2018; permitió valorar la aplicación de normas éticas en dichas tesis, desde la perspectiva hermenéutica bioética. Determinando que, de manera global, las tesis de los Programas de Maestrías en Biología estudiadas son éticamente deficientes; ya que a nivel global solo alcanzaron el 24,3 % del puntaje máximo alcanzable, establecido en el instrumento de medición utilizado en esta investigación. Sólo las tesis de la Maestría en Biología alcanzaron una valoración ética del 26 %, valor que las ubica en la categoría de buenas (Biología Vegetal: 23,9 % y Microbiología Ambiental: 23 %), ubicadas en la categoría de deficientes. Los programas de Maestrías en Biología en la UNACHI, elaboradas en el periodo estudiado, son heterogéneas; al considerar los temas de las tesis y cantidad de promociones. Por lo que es difícil relacionar de manera global el cumplimiento de normas éticas; ya que es posible que resulten sesgos en este tipo de análisis.

En la búsqueda de reducir los sesgos por el análisis global se procedió a comparar el sujeto de estudio de las tesis; de tal manera que al agrupar las tesis dirigidas a sujetos humanos (9,8 %) con las tesis dirigidas a sujetos no humanos (90,2 %), fue más evidente la valoración de los ocho criterios de cumplimiento ético considerados en este estudio. Bajo este enfoque se encontró que el cumplimiento global de normas éticas en tesis dirigidas a sujetos humanos fue bueno (32,7 %); mientras que, en tesis dirigidas a sujetos no humanos, el cumplimiento global de normas éticas fue deficiente (23,3 %).

Los resultados de las tesis hechas en sujetos humanos son consistentes, ya que el bloque de cuatro criterios que evaluaron los compromisos éticos adjuntos a las tesis resultó éticamente bueno (30,1 %) al igual que resultó éticamente bueno el bloque de cuatro criterios que evaluaron los aspectos éticos en el contenido de las tesis (35 %). Mientras que las tesis hechas en sujetos no humanos el bloque de cuatro criterios que evaluaron los compromisos éticos adjuntos a las tesis resultó éticamente deficiente (12,5 %) a diferencia del bloque de cuatro criterios que evaluaron los aspectos éticos en el contenido de las tesis que resultó bueno (32,6 %). Se aprecia mayor grado de uniformidad en la aplicación de normas éticas en tesis hechas en sujetos humanos, en contraste con las tesis hechas en sujetos no humanos, notándose debilidad en los criterios de aspectos éticos en el contenido de las tesis. Las tesis que tratan con sujetos humanos mostraron cumplimiento ético suficiente en tres de los ocho criterios estudiados (“validez científica”: 79,1 %, “valor social”: 56,2 % y “selección justa de sujetos participantes”: 53,1 %),

cumplimiento bueno en dos criterios (“revisión del consentimiento informado”: 48,7 %, “compromisos del autor”: 28,9 %); mientras que el cumplimiento ético fue deficiente en tres de los ocho criterios estudiados (“respeto a los participantes”: 16,2 %, “balance favorable riesgo-beneficio”: 16,2 % y “revisión independiente”: 10,4 %).

Las tesis que tratan con sujetos no humanos mostraron cumplimiento ético suficiente en solo uno de los ocho criterios estudiados (“validez científica”: 75,4 %), un cumplimiento bueno en tres criterios (“valor social”: 45,4 %, “selección justa de sujetos participantes”: 40,5 % y “compromisos del autor”: 27,2 %); mientras que el cumplimiento ético fue deficiente en cuatro de los ocho criterios estudiados (“balance favorable riesgo-beneficio”: 22,2 % y “revisión independiente”: 11,9 %, “respeto a los participantes”: 2,7 %, y “consentimiento informado”: 1,3 %).

No encontramos investigaciones previas sobre el cumplimiento de normas éticas en tesis de Maestrías en Biología, tanto a nivel local como a nivel internacional. Las investigaciones relacionadas hacen referencia a el área de la salud humana, por lo que las comparaciones son parcialmente confiables.

El trabajo más relacionado con nuestra investigación fue realizado por Gutiérrez et al. (2013); quienes revisaron 37 protocolos de ensayos clínicos emitidos por el Comité de Ética de las Investigaciones Clínicas del Centro de Investigaciones Médico-Quirúrgicas en Cuba; analizando siete principios (valor, validez científica, selección equitativa de los sujetos, proporción favorable riesgo-beneficio, evaluación independiente, obtención del consentimiento informado y respeto a los sujetos inscritos). Encontrando que todos los protocolos expresaban valor social y científico, aunque se detectaron problemas éticos, principalmente en el consentimiento informado; este resultado es similar al encontrado en nuestra investigación para las tesis hechas usando sujetos humanos, al menos en estos tres criterios. No tenemos patrón de comparación de los resultados encontrados para las tesis hechas usando sujetos no humanos; sin embargo, se puede plantear la necesidad de discutir a nivel institucional la aplicación de normas éticas de investigación en todas las tesis de las Maestrías en Biología.

El incumplimiento en la aplicación de normas éticas en las tesis de Maestrías en Biología tiene relación con la ausencia de comités de ética institucionales en la UNACHI durante el periodo en que se elaboraron las tesis estudiadas, la falta de marco legal institucional que normara la ética en las tesis y la escasa realización de tesis utilizando sujetos humanos (solo el 9.8 %).

Adicionalmente, debido a que en Panamá el énfasis del Comité Nacional de Bioética de la Investigación es la revisión de protocolos de investigaciones que involucren sujetos humanos, especialmente en las áreas de salud pública e investigación clínica; hasta ahora no se ha dado un compromiso de aplicar algún tipo de normas éticas estándares por parte de coordinadores, estudiantes y profesores involucrados en las tesis de Maestrías en Biología. Esto es confirmado por la falta de evidencias escritas en las tesis del Consentimiento informado (0 %) y declaración de no conflicto de intereses (0 %), frente a las evidencias escritas de revisiones de comités académicos institucionales (45.7 %). A pesar de las deficiencias éticas en las tesis de los programas de Maestrías en Biología; hay contrastes interesantes en los resultados particulares de esta investigación; los cuales permiten apreciar un intento de aplicación de normas éticas, especialmente en el área de los aspectos éticos del contenido de las tesis, y muestra mayores deficiencias en el área de compromisos éticos adjuntos a las tesis.

Los temas de las tesis elaboradas en los Programas de Maestrías en Biología han favorecido la escasa aplicación de normas éticas; puesto que solamente el 9,8 % se relaciona con el uso de sujetos humanos (áreas de Parasitología Humana y Botánica Económica); en contraste con el 90,2 % relacionado con sujetos no humanos como plantas, animales, hongos y microorganismos varios (áreas de Ecología, Taxonomía, Fisiología Vegetal, Farmacología, Parasitología). Esto se evidencia en los criterios que alcanzaron la más baja valoración ética en el nivel de deficientes: “revisión del consentimiento informado”, “respeto a los participantes” y revisión independiente”; ya que éstos son más asociados a estudios con sujetos humanos que con sujetos no humanos.

La situación de deficiencia en aplicación de normas éticas en las tesis de los Programas de Maestrías en Biología podría mejorar a futuro, ya que a partir de 2019 en la UNACHI se aprueba el Reglamento del Comité de Bioética de la UNACHI; ocurrida a través del Consejo Académico N°8-2019 de 2019. Es probable que la tendencia sea la de seguir dándole más énfasis al escrutinio de los protocolos de investigación en las áreas de salud pública e investigación clínica en sujetos humanos; sin embargo, a nivel de los programas de Maestrías en Biología se puede gestar un cambio de actitud para incluir investigaciones que incluyan sujetos no humanos, el ambiente, los recursos naturales y todos los demás aspectos que de algún modo afecten el desarrollo de la vida en nuestro planeta.

Los resultados de esta investigación permiten establecer criterios para que en las tesis se incluyan evidencias concretas que demuestren el cumplimiento de normas éticas relacionadas con la forma

correcta de obtener y utilizar la información requerida en las investigaciones, el respeto a los sujetos participantes sean humanos o no, el balance favorable riesgo-beneficio para los sujetos implicados en el estudio y el entorno natural; todo lo que en conjunto garantice la validez social y científica de las investigaciones.

Hay que ir más allá del rol académico y de investigación técnica que tradicionalmente caracteriza a las tesis de Maestrías en Biología y complementarlas con el componente ético. Como punto de partida consideramos que se debe tomar en cuenta los criterios de valoración ética usados en esta investigación para elaborar una guía de cumplimiento de normas éticas, que sirva a los asesores y estudiantes durante el proceso de elaborar las tesis; la cual poco a poco se puede incorporar a las reglamentaciones institucionales ya existentes.

Conclusiones

- Las tesis de los Programas de Maestrías en Biología, elaboradas en la Universidad Autónoma de Chiriquí en el periodo 2002 a 2018, presentaron el 24,3 % de cumplimiento global de normas éticas desde el punto de vista de la hermenéutica bioética.
- Las tesis de Maestrías en Biología, utilizando sujetos humanos mostraron un cumplimiento de normas éticas bueno (32,7 %); mientras que las tesis, utilizando sujetos no humanos mostraron un cumplimiento ético deficiente (23,3 %).
- Los criterios mejor evaluados en tesis hechas utilizando sujetos humanos son: “validez científica” (79,1 %), “valor social”: (56,2 %), “selección justa de sujetos participantes” (53,1%) y “revisión del consentimiento informado (48,7 %).
- Los criterios peor evaluados en tesis hechas utilizando sujetos humanos son: “compromisos del autor” (28,9 %), “respeto a los participantes” (16,2 %), “balance favorable riesgo-beneficio” (16,2 % y “revisión independiente” (10,4 %).
- Los criterios mejor evaluados en tesis hechas utilizando sujetos no humanos son: “validez científica” (75,4 %), “valor social”: (45,4 %), “selección justa de sujetos participantes” (40,5 %).
- Los criterios peor evaluados en tesis hechas utilizando sujetos no humanos son: “compromisos del autor” (27,2 %), “balance favorable riesgo-beneficio” (22,2 %), “revisión independiente” (11,9 %), “respeto a los participantes” (2,7 %) y “consentimiento informado” (1,3 %).

- La falta de un comité de ética de la investigación institucional y la no obligatoriedad de someter a normas éticas las tesis de maestrías en Biología; son justificaciones del bajo cumplimiento de normas éticas en las tesis estudiadas.

Referencias

- Becerra, A. G. (1998). El tránsito desde la Ciencia básica a la Tecnología: *la Biología como modelo*. Revista Iberoamericana de Educación, 18, 91-106
- Cely Galindo, G. S. (2005). Emergencia de la bioética como humanismo científico, para orientar al lector en: Cely Galindo, G. S., Barrera de Aragón, M., Velasco Parrado, N., Ospina de Dulcé, B., Rodríguez Lastra, J., Rueda, E. A., & Londoño Londoño, H. (2005). *Bioética humanismo científico emergente*
- Comité Nacional de Bioética de la Investigación, Panamá. (2023). Comités Acreditados. Recuperado en: https://cnbi.senacyt.gob.pa/?page_id=357
- Encalada-Díaz, M. I. (2016). El valor de una tesis. *Acta ortopédica mexicana*, 30(2), 51-51.
- Gutiérrez, C. G., Rodríguez, B. T., Cordero, M. L., & Gutiérrez, L. S. (2013). Revisión y análisis de aspectos éticos de las investigaciones y de la asistencia médica. *Investigaciones Médico-quirúrgicas*, 5(1), 113-141.
- Lima, N. S., & Cambra Badii, I. (2013). La bioética según Fritz Jahr: idea y cosmovisión. Referencias contextuales y narrativas del surgimiento del concepto. In V Congreso Internacional de Investigación y Práctica Profesional en Psicología XX Jornadas de Investigación Noveno Encuentro de Investigadores en Psicología del MERCOSUR. Facultad de Psicología-Universidad de Buenos Aires.
- Nézer de Landaeta, I. (2002). Desafíos éticos en el nuevo milenio. *Gaceta Médica de Caracas*, 110(1), 114-117.
- Piedra-Salomón, Y., & Martínez-Rodríguez, A. (2007). Producción científica. *Ciencias de la Información*, 38(3), 33-38.
- Potter, V. R. (1970). Bioethics, the science of survival. *Perspectives in biology and medicine*, 14(1), 127-153.
- Rawlison, M. (2015). Bioética: ¿Un puente hacia el futuro? En Solinis G. 2015. ¿Por qué una Bioética Global? Unesco
- Rowe, B. (2005). Diagnóstico sobre las políticas de las universidades públicas y privadas en Panamá en materia de investigación. Programa: Diagnóstico de las políticas de investigación universitarias en América Latina y el Caribe. UNESCO-IESALC
- Sánchez Thevenet, P., & Javaloyes Del Río, C. (2011). Relación entre bioética e investigación en ciencias de la vida en Argentina: estudio descriptivo a escala nacional. *Acta bioethica*, 17(1), 105-114.
- Universidad Autónoma de Chiriquí. (2009). *Estatuto Universitario*
- Universidad Autónoma de Chiriquí. (2015). *Reglamento de investigación e innovación. Aprobado en Consejo Académico No.9-2015, del 22 de mayo de 2015. Ratificado en Consejo General Universitario No.4-2016, del 9 de noviembre de 2016. Modificado en Consejo Académico No.8-2022, del 28 de junio de 2022.*

Aproximación in silico a la adsorción de etanol, etanal y ácido etanoico en la superficie (001) Ni(OH)₂ mediante dinámica molecular

In silico approach to ethanol, acetaldehyde, and acetic acid adsorption in (001)Ni(OH)₂ surface by molecular dynamics

Martín De Hoyos¹

<https://orcid.org/0009-0001-8502-1454>

Griselda Caballero²

<https://orcid.org/0000-0003-4813-7332>

Miranda Mario L.^{1,3}

<https://orcid.org/0000-0002-1958-841X>

Ritzela E. Lezcano^{2,3}

<https://orcid.org/0000-0001-6433-3793>

¹Universidad de Panamá. Escuela de Química. Panamá.

²Universidad de Panamá. Departamento de Química Física. ³Universidad de Panamá. Laboratorio de la calidad del aire y agua (LACAYA). Panamá.

Autor correspondiente: ritzela.lezcano@up.ac.pa

Enviado el 25 de enero de 2023. Aceptado el 22 de marzo de 2023.

Resumen

La contaminación ambiental y el agotamiento de los combustibles fósiles han impulsado la búsqueda de fuentes alternativas de energía. Las celdas de combustible han ganado popularidad porque convierten directamente la energía química en energía eléctrica utilizable. Las celdas de combustibles alcalinas de etanol directo presentan cualidades prometedoras ya que pueden utilizar catalizadores diferentes a los metales nobles, disminuyendo su costo. Uno de los retos de esta tecnología es el diseño de nuevos catalizadores que aumenten la eficiencia de las celdas. El propósito de esta investigación fue utilizar los métodos de dinámica molecular, específicamente el programa AMS-REAXFF para determinar los coeficientes de difusión del etanol sobre una superficie β -Ni(OH)₂ a diferentes temperaturas. Adicionalmente, se calcularon las energías de adsorción tanto del etanol como de sus productos de oxidación (etanal y ácido etanoico) sobre la superficie β -Ni(OH)₂ a diferentes temperaturas. Los resultados obtenidos indican que el coeficiente de difusión del etanol aumenta proporcionalmente con la temperatura y el ajuste de mínimos cuadrados indica que cumple el modelo de Arrhenius. La energía de activación predicha es positiva, indicando la necesidad de suministrar energía al sistema para iniciar el proceso de difusión. De acuerdo con los resultados obtenidos para las energías de adsorción, la molécula de etanol presenta una menor afinidad hacia la superficie (001) del β -Ni(OH)₂ en comparación con las moléculas de etanal y ácido etanoico respectivamente. Sin embargo, para el rango de temperaturas seleccionado (bajas temperaturas) la variación de la energía de adsorción se mantuvo dentro del mismo orden de magnitud.

Palabras claves: cerámicos, combustibles fósiles, dinámica molecular, energía renovable, simulación

Abstract

Environmental pollution and the depletion of fossil fuels have prompted the search for alternative energy sources. Fuel cells have gained popularity because they directly convert chemical energy into usable electrical energy. Alkaline direct ethanol fuel cells have promising qualities because of their ability

to use non-noble metal catalysts, lowering their cost. One of the challenges of this technology is the design of new catalysts that increase the efficiency of fuel cells. This research aimed to use molecular dynamics methods, specifically, the AMS-REAXFF program to determine the diffusion coefficients of ethanol over a β -Ni(OH)₂ surface at different temperatures. Additionally, the adsorption energies of both ethanol and its oxidation products (ethanal and ethanoic acid) on the β -Ni(OH)₂ surface at different temperatures were calculated. The results indicate that ethanol's diffusion coefficient increases proportionally with temperature, and the least squares fit indicates that it complies with the Arrhenius model. The predicted activation energy is positive, indicating the need to supply energy to the system to initiate diffusion. According to the results obtained for the adsorption energies, the ethanol molecule presents a lower affinity towards the (001) surface of the β -Ni(OH)₂ compared to the ethanal and ethanoic acid molecules respectively. However, for the selected temperature range (low temperatures) the variation of the adsorption energy remained within the same order of magnitude.

Key words: ceramics, fuel cells, molecular dynamics, renewable energy, simulation

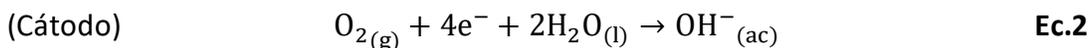
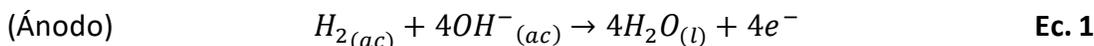
Introducción

La búsqueda de nuevas fuentes de energía renovable ha sido impulsada por la poca disponibilidad de los combustibles fósiles, por los efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana causados por la quema de combustibles fósiles. En Panamá, la mayor parte de la energía eléctrica es producida en plantas hidroeléctricas (57.1 %), el resto se reparte entre generación térmica (39.8 %) y producción eólica (3.0 %). Según la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, se define como energía verde a aquella energía renovable con el mayor beneficio ambiental; las energías solar y eólica están dentro de esta categoría, pues presentan un bajo impacto ambiental y alta eficiencia. La dificultad intrínseca en el manejo del hidrógeno gaseoso, además de la necesidad de utilizar catalizadores metálicos para lograr mayor eficiencia de reacción, ha causado que en años recientes este combustible haya sido reemplazado por alcoholes porque tienen baja toxicidad como es el caso del etanol.

El uso de celdas de combustible ofrece la oportunidad de transformar la energía química directamente en energía eléctrica, con la ventaja de producir materiales secundarios utilizables como sustratos para otros procesos industriales (Rincón Castrillo et al. 2019). Los catalizadores en medio alcalino más utilizados son Pt, Pd y Au, ya que son activos para la conversión de etanol a acetato, sin embargo, pueden ser envenenados (ósea que pierden su eficiencia catalítica), si se adsorbe sobre su superficie monóxido de carbono (Cermenek et al. 2019). Investigaciones recientes han determinado que el platino, aleado con níquel y soportado sobre carbon Vulcan™ presenta mayor resistencia al envenenamiento por

monóxido de carbono, ya que la formación de hidróxidos y oxihidróxidos de níquel favorece la desorción del monóxido de carbono, siguiendo un mecanismo bifuncional (Caballero-Manrique et al. 2020).

Las celdas de combustible de alcohol directo han ido ganando relevancia desde el siglo 20 debido a la facilidad del transporte, almacenamiento y aspectos logísticos relacionados a su manejo en general, en comparación con otros combustibles como el hidrógeno gaseoso (Cermenek et al. 2019). Estas celdas requieren hidróxido de potasio como electrolito en una concentración aproximada del 85 %, lo cual introduce complicaciones en su manejo ya que el hidróxido de potasio es corrosivo. A diferencia de las otras celdas de combustibles, el flujo de iones se da desde el cátodo hasta el ánodo. Tradicionalmente, el hidrógeno gaseoso es utilizado como combustible anódico, donde es oxidado por la acción de iones hidroxilos (**Ec.1**), mientras que, en el cátodo, el agua y el oxígeno del aire se combinan para formar iones hidroxilo utilizando los cuatro electrones producto de la oxidación del hidrógeno (**Ec. 2**) (Rincón Castrillo et al. 2019).



La principal ventaja de las celdas de combustible alcalinas es la posibilidad de utilizar metales de transición como catalizadores, tales como Ni, Co, Fe, además de los óxidos de estos metales. Recientes publicaciones indican que las celdas de combustibles pueden alcanzar eficiencias de reacción iguales o incluso superiores a las obtenidas utilizando metales nobles como catalizadores (Martín-Yerga et al. 2019). El hidróxido de níquel es un material cerámico que ha mostrado gran potencial en su uso como catalizador para la oxidación del etanol y la reducción del oxígeno. Aunque el hidróxido de níquel ha sido utilizado en baterías desde el siglo pasado, la investigación sobre su uso en celdas de combustible es relativamente reciente (Hall et al. 2015).

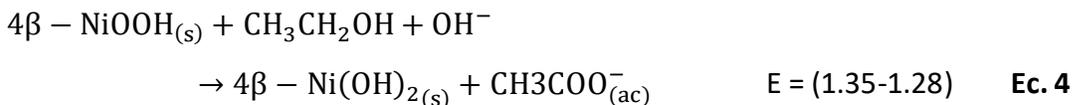
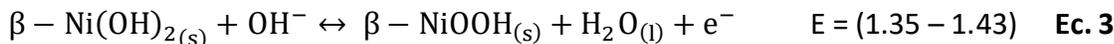
La eficiencia catalítica de los materiales cerámicos depende de factores tales como: defectos de red, topología superficial, reactividad química intrínseca de la superficie y el área superficial expuesta al

combustible (Keane, 2003). La conformación de estratos en la síntesis de las formas alfa y beta para el hidróxido de níquel se ha descrito recientemente y los resultados de este estudio indican que la forma alfa posee distancias internucleares entre los átomos de níquel de hasta 7.7 angstroms, mientras que la conformación de las láminas Beta presenta una distancia de hasta 4.6 angstroms. Estas observaciones son relevantes toda vez que la homogeneidad de las superficies de reacciones influye en la eficiencia de las reacciones electroquímicas sobre la superficie de este catalizador, por lo que garantizar esta homogeneidad garantiza mejores eficiencias de reacción (Lawson et al. 2023a). Mas aún, el uso de materiales cerámicos como catalizadores ha experimentado un auge reciente, por lo que la caracterización completa del material a utilizar, el uso de dopantes para mejorar la eficiencia de la reacción es un campo de estudio de gran interés (Vyas et al. 2020; Zhang et al. 2018).

Explorar los factores mencionados requiere de técnicas analíticas espectroscópicas selectas y laboriosas. Gracias al advenimientos de los métodos *in silico*, provistos por la química computacional, se puede sortear estos obstáculos, permitiendo así la exploración de la microestructura de las sustancias y relacionándolas a propiedades macroscópicas, sin la necesidad de realizar determinaciones analíticas de forma física. Sin embargo, se requieren estudiar las condiciones computacionales óptimas para obtener resultados que apoyen a las investigaciones experimentales. Si bien es cierto existen diversas aproximaciones para simular reacciones sobre superficies catalíticas, estudios previos utilizando la técnica de simulación por dinámica molecular (DM) han demostrado ser útiles en predicción de las condiciones óptimas de catálisis, así como la determinación de las energías de enlaces de las conformaciones del hidróxido de níquel como superficie de reacción. El uso de la técnica de dinámica molecular permite un método sencillo y comparable para el estudio de estos fenómenos de adsorción sobre la eficiencia de las reacciones (H. Li et al. 2006; Oyinbo & Jen, 2022).

El estudio de las propiedades del hidróxido de níquel tales como la distribución de los átomos de níquel en el compuesto, así como el efecto dopante que causa la adición de átomos de hierro o cobalto y de la disponibilidad de espacios o vacancias para la reacción de oxidación del etanol, han sido previamente determinados tanto experimentalmente como por simulaciones (Martín-Yerga et al. 2019; Yang et al. 2019; Zou et al. 2015). Uno de los principales desafíos en el uso de hidróxido de níquel como catalizador es la interferencia de los productos intermedios de reacción de la reacción de oxidación del etanol.

Fleischmann et al. (1972), propusieron un mecanismo general para la conversión de etanol a ácido acético de acuerdo con las ecuaciones Ec.3 y Ec.4:



La afinidad del etanol y de sus productos químicos intermedios de reacción por las especies de níquel presentes en este tipo de celdas es actualmente desconocida. Sin embargo, debido a que estas reacciones ocurren en un rango cercano de potenciales, y la regeneración del oxihidróxido de níquel es esencial para la continuación del ciclo catalítico, se deduce que el etanol puede adsorberse sobre el Níquel (II), disminuyendo de esta forma la cantidad de sitios catalíticos y reduciendo la eficiencia de la celda (Danaee et al. 2012). Se ha postulado que el etanol presenta poca afinidad por las especies de Ni^{2+} y Ni^{3+} ya que la adsorción de este es el paso determinante de la reacción (Barbosa et al. 2015). Para lograr una celda eficiente, se deben establecer las condiciones para disminuir la afinidad de las moléculas de etanol, etanal y ácido etanoico por el Ni^{2+} , sin afectar su afinidad por el Ni^{3+} y su difusión en la disolución.

El objetivo de esta investigación consistió en determinar el coeficiente de difusión del etanol como función de la variación de temperatura. Adicionalmente, se determinó las energías de adsorción (E_{ads}) del etanol y de los productos de la oxidación del etanol (etanal y ácido etanoico) sobre la superficie (001) del $\beta\text{-Ni}(\text{OH})_2$.

Materiales y Métodos

Para las simulaciones se utilizó el método de DM con un campo de fuerza reactivo parametrizado originalmente para aleaciones de PtNi (ReaxFF Pt/Ni/O/C/H) (Shin et al. 2016). A pesar de existir las conformaciones $\alpha\text{-Ni}(\text{OH})_2$, $\beta\text{-Ni}(\text{OH})_2$, y $\gamma\text{-Ni}(\text{OH})_2$, en el presente estudio se utilizó la superficie (001) del $\beta\text{-Ni}(\text{OH})_2$, por ser una de las superficies más estudiadas y con reportes publicados, lo que permite la comparación directa de nuestros resultados (Fleischmann et al. 1972; Lawson et al. 2023b; C. Li et al. 2018). Para construir la superficie de estudio se tomó la celda unitaria del cristal y se construyó una

supercelda de 6x6x5. Se armaron tres sistemas base: uno con 126 moléculas de etanol, 134 moléculas de etanal y 135 moléculas de ácido etanoico. Se utilizó el programa packmol (Martinez et al. 2009), para introducir las moléculas orgánicas a la caja de simulación que contenía las superficies y generar las configuraciones iniciales. Las dimensiones finales de la caja de simulación fueron de 6x6x100, incluyendo un vacío de longitud 25 en la dirección Z para evitar interacciones con las réplicas en dirección Z.

- **Optimización de las geometrías**

Inicialmente se optimizó la geometría de la superficie, con el fin de obtener la configuración geométrica de menor energía posible. Se utilizó el algoritmo de optimización FIRE, con los siguientes parámetros: valor de convergencia para la energía: $1e^{-05}$ Hartree y límite de gradiente nuclear de 0.001 Hartree/Angstrom. Luego de introducir las moléculas orgánicas al sistema, se realizó una segunda optimización utilizando el mismo algoritmo y valores para los parámetros. El modo reactivo del campo de fuerza se desactivó para prevenir la formación de artefactos y los átomos de níquel se congelaron en sus posiciones, para evitar movimiento en la dirección Z.

- **Detalles de la simulación**

Todas las simulaciones y optimizaciones de geometría se realizaron utilizando el programa AMS-REAXFF (te Velde et al., 2001), las ecuaciones de movimiento Newtonianas se integraron utilizando un *timestep* de 0.25 fs. Las simulaciones se llevaron a cabo dentro de un conjunto NVT y utilizando el termostato de Berendsen para la etapa de equilibrio y el termostato de Nose-Hover para la etapa de producción, en ambos casos la constante de *damping* fue de 0.1 ps. Las temperaturas de trabajo fueron de 300, 325, 350, 375, 400 y 425 K. Los siete sistemas fueron calentados desde una temperatura inicial de 100 K hasta la temperatura de trabajo, luego de esto se realizó la simulación de equilibrio de 7500 fs, con el fin de alcanzar el equilibrio térmico en el sistema. En este paso el modo reactivo fue desactivado para evitar interacciones indeseadas entre las moléculas y la superficie. Luego de alcanzar el equilibrio se realizó la simulación de producción, esta tomó 125 000 fs en terminar. Esta etapa fue la utilizada para la determinación de las propiedades deseadas. Los coeficientes de difusión fueron obtenidos utilizando la herramienta de cálculo de trayectorias incluida en el programa donde se realizaron las simulaciones. Las energías de adsorción se calcularon utilizando **Ec.5**:

$$E_{\text{ads}} = \frac{(E_{\text{sis}} - E_s - nE_{\text{mol}})}{n}$$

Ec. 5

Dónde: E_{ads} es la energía de adsorción, E_{sis} es la energía del sistema a la temperatura de trabajo, E_s la energía de la superficie, E_{mol} la energía de la molécula orgánica estudiada y n es el número de moléculas orgánicas presentes en el sistema (Xu et al. 2021).

Resultados

La figura 1(a) muestra la variación del coeficiente de difusión con la temperatura. Se puede observar que a medida que aumenta la temperatura la magnitud del coeficiente de auto difusión aumenta.

En la figura 1 (b) se presenta el gráfico del logaritmo natural para el coeficiente de difusión con respecto al inverso de la temperatura (\ln vs T), con un ajuste lineal por mínimos cuadrados, donde el R^2 fue de 0,936. El ajuste de mínimos cuadrados aplicado permite apreciar claramente la tendencia del coeficiente de difusión con la temperatura. En la figura 2 (a), (b) y (c) se muestra la E_{ads} obtenidas para etanol, etanal y ácido etanoico respectivamente. Los valores obtenidos para la E_{ads} se expresan en unidades Hartree (Ha), la que es utilizada para medir la energía potencial eléctrica absoluta de una interacción (1 Ha equivale a 43.60 J).

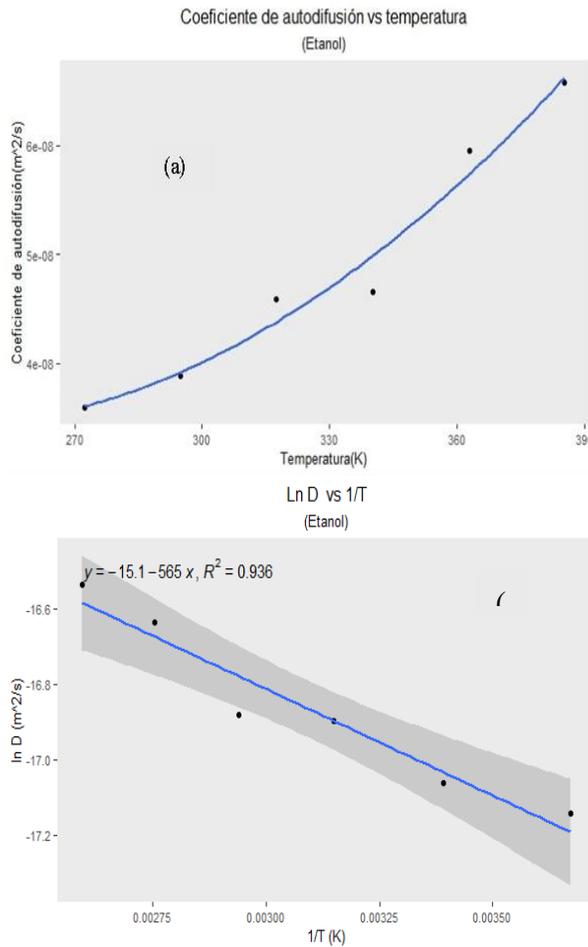


Figura 1. Perfiles de los coeficientes de difusión en función de la temperatura. (a)Variación del coeficiente de difusión del etanol con la temperatura. (b) Ajuste lineal del logaritmo natural del coeficiente de difusión vs 1/T.

Los perfiles de E_{ads} para el etanol, figura 1 (a), muestran una disminución en el intervalo de temperatura comprendido entre 300 y 380 K. Del mismo modo se puede observar que el mínimo de E_{ads} para el sistema de etanol simulado se localiza en 380 K. En el caso del etanol, como se muestra en la figura 2 (b), el perfil de adsorción obtenido sugiere la existencia de una disminución inicial del valor de energía para luego alcanzar un máximo a 360 K, seguido de disminución de la magnitud de la interacción. Para simulación del sistema del ácido etanoico, se obtuvieron resultados más complejos. En esta se observa que entre 300 a 310 K hay una disminución en la magnitud de la E_{ads} , para posteriormente

obtenerse ciclos alternos de aumento y disminución de la E_{ads} en los intervalos de 310 a 330 K y de 340 a 360 K respectivamente. Finalmente, este modelo sugiere que a temperaturas superiores a 370 K se produce una disminución en la E_{ads} .

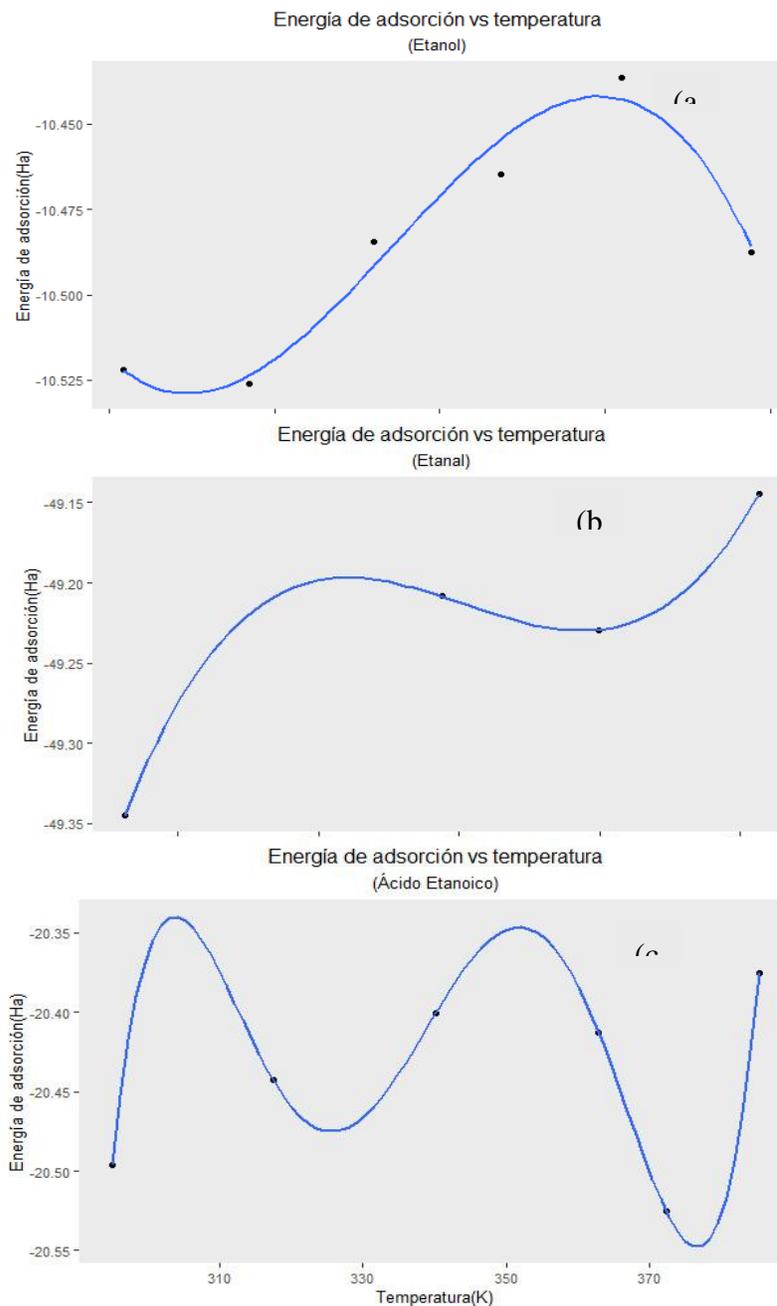


Figura 2. Perfiles de la E_{ads} para el etanol y los productos de la oxidación. Variación de E_{ads} con la temperatura para: (a) Etanol (b) etanal y (c) ácido etanoico.

Como puede observarse en la figura 2 (a), (b) y (c), la relación entre el aumento de la temperatura y la variación de la energía de adsorción sobre la superficie presentan un comportamiento cíclico. Estos perfiles no consideran algunos factores de geometría y composición superficial los que se han reportado como factores que modifican las E_{ads} . Sin embargo, los valores relativos de esta energía son significativamente diferentes para las especies consideradas en las simulaciones específicamente etanol, etanal y ácido etanoico.

Discusión

El proceso de oxidación de etanol y de otros alcoholes simples ha sido estudiado ampliamente (Barbosa et al. 2015a; Fleischmann et al. 1972; Lawson et al. 2023b). Sin embargo, información sobre el coeficiente de difusión y de la energía de adsorción del etanol sobre la superficie de β -Ni(OH)₂ son limitados. La cinética de la oxidación del etanol en celdas de combustibles alcalinas se favorece con el aumento de la temperatura. De acuerdo con Barbosa et al. (2015), la difusión de las moléculas de etanol representa el factor determinante en la oxidación del etanol sobre la superficie de β -Ni(OH)₂.

El proceso de difusión del etanol puede ser descrito mediante la ecuación de Arrhenius:

$$D_{(T)} = D_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad \text{Ec. 6}$$

$$\ln D_{(T)} = \ln D_0 - \frac{E_a}{RT} \quad \text{Ec. 6.1}$$

donde R es la constante de los gases, D_0 es el coeficiente de difusión a temperatura infinita y E_a es la energía de activación para la difusión. Siendo la E_a , la energía necesaria para que comience el proceso de difusión del etanol.

En el gráfico de la figura 1 (b), se observa que la energía de activación para el proceso de difusión del etanol es negativa, lo que indica que el proceso es espontáneo. Como la oxidación del etanol es un proceso altamente dependiente de la difusión, se puede deducir que las contribuciones de la difusión del etanol en las limitaciones de la cinética de la reacción de oxidación del etanol son pequeñas.

En el caso de las E_{ads} , se esperaba una disminución consistente en su magnitud al aumentar la temperatura. A pesar de que la variación de esta energía exhibe sutiles cambios en su magnitud, debemos señalar que la variación fue mínima (< 0.5 Ha) y que la misma se mantuvo dentro del mismo orden de magnitud. Este comportamiento puede ser explicado debido al modelo de simulación utilizado, el cual no es capaz de considerar interacciones entre todos los posibles productos secundarios de la reacción (C. Li et al. 2018; Xu et al. 2021). El modelo matemático para obtener la E_{ads} (Ec. 5), considera dentro del término energía del sistema (E_{sis}) las contribuciones energéticas producto de la interacción entre pares de moléculas adsorbidas en la superficie. La no consideración de dichas interacciones podría contribuir a la variabilidad de los perfiles en la magnitud de la E_{ads} calculada. Sin embargo, este es el único modelo reportado para el cálculo de las E_{ads} sobre una superficie sólida (Al-Hamdani et al. 2017; Xu et al. 2021). Adicionalmente, en este estudio las simulaciones fueron realizadas en un rango de bajas temperaturas.

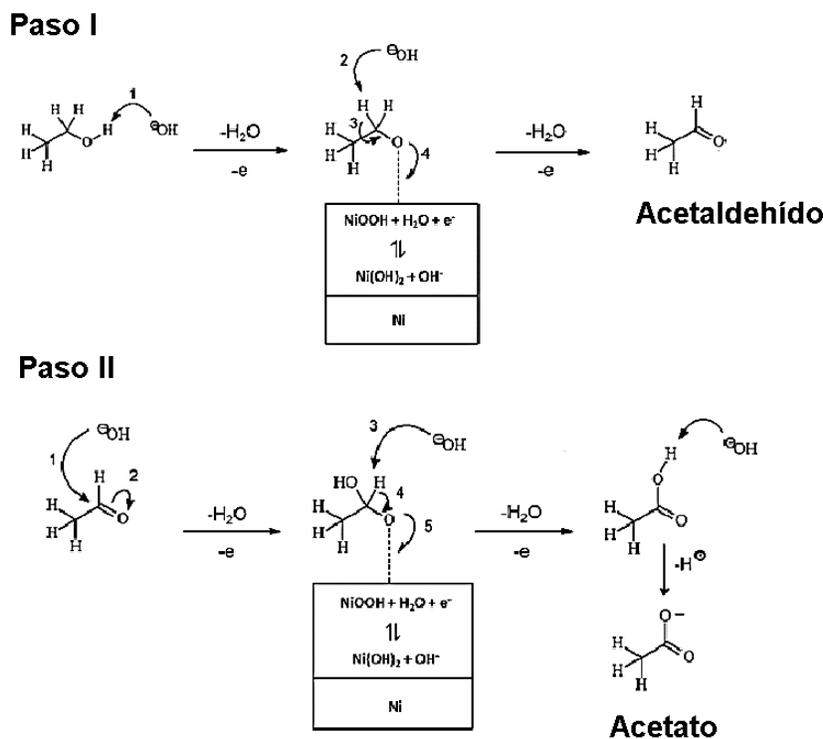


Figura 3. Mecanismo de electro oxidación del etanol sobre β -Ni(OH)₂ (Barbosa et al., 2015a)

De acuerdo con el mecanismo de reacción propuesto (Barbosa et al. 2015a; Lawson et al. 2023b), el paso inicial de la reacción procede por medio de la deshidratación del etanol, para formar el ion etanoato que se adhiere a la superficie del material cerámico de β -Ni(OH)₂, figura 3. En esta etapa se da la pérdida de una molécula de agua la que se asocia simultáneamente a la oxido-reducción del β -Ni(OH)₂ para producir Etanal. Este producto intermedio de la reacción se hidroxila a través de un ataque nucleofílico en medio básico, para producir el intermedio de la fase II que se adhiere a la superficie del β -Ni(OH)₂, lo que es consistente con los resultados de la simulación en este estudio. Estos resultados sugieren que los mayores valores de E_{ads} se corresponden a la adsorción del etanal. En esta etapa de la reacción el intermedio es oxidado a través de un ataque nucleofílico, perdiendo una segunda molécula de agua para producir ácido etanoico. El ácido etanoico finalmente se neutraliza, dando como resultado la formación del ion acetato como producto final de la reacción. Esto es consistente con los resultados de esta investigación, en donde el valor de la energía de adsorción para el etanal es mayor que la calculada para el etanol y el ácido etanoico respectivamente E_{ads} : ETOH < ácido etanoico < Etanal (-10.48 Ha < -20.5 Ha < -49.14 Ha).

Conclusión

En este estudio se utilizó el método de DM para simular las reacciones de oxidación del etanol sobre la superficie de β -Ni(OH)₂ como catalizador. Se determinó que el coeficiente de difsion del etanol en función de la temperatura sigue la ley de ahrrenius. De acuerdo con los resultados obtenidos se determinó que el etanol presenta la menor E_{ads} por la superficie del catalizador lo que facilita el paso inicial de la electro-oxidación en el seno de la disolución. La representación estructural de la superficie del β -Ni(OH)₂ es compleja ya que este material cerámico está compuesto de capas u hojas de átomos, las cuales se mantienen unidas entre su por fuerzas interplanares. Para simular adecuadamente estas fuerzas es necesario añadir un gran número de capas y considerar las contribuciones electrónicas para así obtener resultados más próximos a las propiedades de este material. En futuros estudios se deben considerar los cálculos para la energía de adsorción de las moléculas estudiadas utilizando la teoría

funcional de densidad (DFT), que toma en cuenta las contribuciones electrónicas y simula con mayor precisión las fuerzas interplanares entre las capas del material.

Los perfiles de adsorción obtenidos en la simulación no reflejan el total de las interacciones de la reacción toda vez que la técnica utilizada limita el número de especies participantes. Sin embargo, los resultados establecen que las magnitudes de las E_{ads} siguen el orden Etanol < Acido etanoico < Etanal, lo cual es consistente con los mecanismos de electro-oxidación propuestos previamente. Para obtener información más precisa se requiere realizar cálculos para la E_{ads} de las moléculas estudiadas sobre la superficie (001) del β -Ni(OH)₂.

Finalmente, debe optimizarse un campo de fuerza específico para el estudio de un sistema, para dicho campo de fuerza es necesario agregar un término energético que permita reproducir las interacciones interplanares. Además, se debe aumentar el tiempo de simulación y el intervalo de temperaturas para comprobar si los cambios en la magnitud de las energías de adsorción permanecen dentro del mismo orden de magnitud o si se producen cambios repentinos a mayores temperaturas.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de la Convocatoria Universitaria a Fondos de Investigación (CUFI), con código VIP-CEIP-01-04-21-2021-07 de la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado de la Universidad de Panamá.

Referencias

- Al-Hamdani, Y. S., Michaelides, A., & von Lilienfeld, O. A. (2017). Exploring dissociative water adsorption on isoelectronically BN doped graphene using alchemical derivatives. *The Journal of Chemical Physics*, 147(16), 164113. <https://doi.org/10.1063/1.4986314>
- Barbosa, A. F. B., Oliveira, V. L., van Drunen, J., & Tremiliosi-Filho, G. (2015a). Ethanol electro-oxidation reaction using a polycrystalline nickel electrode in alkaline media: Temperature influence and reaction mechanism. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 746, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2015.03.024>
- Barbosa, A. F. B., Oliveira, V. L., van Drunen, J., & Tremiliosi-Filho, G. (2015b). Ethanol electro-oxidation reaction using a polycrystalline nickel electrode in alkaline media: Temperature influence and

- reaction mechanism. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 746, 31–38.
<https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2015.03.024>
- Caballero-Manrique, G., Garcia-Cardona, J., Brillas, E., Jaén, J. A., Sánchez, J. M., & Cabot, P. L. (2020). Synthesis and evaluation of PtNi electrocatalysts for CO and methanol oxidation in low temperature fuel cells. *Catalysts*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/catal10050563>
- Cermenek, B., Ranninger, J., & Hacker, V. (2019). Alkaline Direct Ethanol Fuel Cell. In *Ethanol* (pp. 383–405). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811458-2.00015-8>
- Danaee, I., Jafarian, M., Sharafi, M., & Gobal, F. (2012). A Kinetic Investigation of Ethanol Oxidation on a Nickel Oxyhydroxide Electrode. *Journal of Electrochemical Science and Technology*, 3(1), 50–56.
<https://doi.org/10.5229/jecst.2012.3.1.50>
- Fleischmann, M., Korinek, K., & Pletcher, D. (1972). The kinetics and mechanism of the oxidation of amines and alcohols at oxide-covered nickel, silver, copper, and cobalt electrodes. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2*, 10, 1396. <https://doi.org/10.1039/p29720001396>
- Hall, D. S., Lockwood, D. J., Bock, C., & MacDougall, B. R. (2015). Nickel hydroxides and related materials: A review of their structures, synthesis and properties. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 471(2174).
<https://doi.org/10.1098/rspa.2014.0792>
- Keane, M. A. (2003). Chemical and Bio-Ceramics for catalysis. *Journal of Materials Science*, 38, 4661–4675. <https://doi.org/10.1023/A:1027406515132>
- Lawson, K., Wallbridge, S. P., Catling, A. E., Kirk, C. A., & Dann, S. E. (2023a). Determination of layered nickel hydroxide phases in materials disordered by stacking faults and interstratification. *Journal of Materials Chemistry A*, 11(2), 789–799. <https://doi.org/10.1039/D2TA07655A>
- Lawson, K., Wallbridge, S. P., Catling, A. E., Kirk, C. A., & Dann, S. E. (2023b). Determination of layered nickel hydroxide phases in materials disordered by stacking faults and interstratification. *Journal of Materials Chemistry A*, 11(2), 789–799. <https://doi.org/10.1039/D2TA07655A>
- Li, C., Wen, H., Tang, P.-P., Wen, X.-P., Wu, L.-S., Dai, H.-B., & Wang, P. (2018). Effects of Ni(OH)₂ Morphology on the Catalytic Performance of Pd/Ni(OH)₂/Ni Foam Hybrid Catalyst toward Ethanol Electrooxidation. *ACS Applied Energy Materials*, 1(11), 6040–6046.
<https://doi.org/10.1021/acsaem.8b01095>
- Li, H., Ma, J., Evans, D. G., Zhou, T., Li, F., & Duan, X. (2006). Molecular Dynamics Modeling of the Structures and Binding Energies of α -Nickel Hydroxides and Nickel–Aluminum Layered Double Hydroxides Containing Various Interlayer Guest Anions. *Chemistry of Materials*, 18(18), 4405–4414. <https://doi.org/10.1021/cm060867h>
- Martinez, L., Andrade, R., Birgin, E. G., & Martínez, J. M. (2009). PACKMOL: A package for building initial configurations for molecular dynamics simulations. *Journal of Computational Chemistry*, 30(13), 2157–2164. <https://doi.org/10.1002/JCC.21224>
- Martín-Yerga, D., Henriksson, G., & Cornell, A. (2019). Effects of Incorporated Iron or Cobalt on the Ethanol Oxidation Activity of Nickel (Oxy)Hydroxides in Alkaline Media. *Electrocatalysis*, 10(5), 489–498. <https://doi.org/10.1007/s12678-019-00531-8>
- Oyinbo, S. T., & Jen, T.-C. (2022). Reactive molecular dynamics simulations of nickel-based heterometallic catalysts for hydrogen evolution in an alkaline KOH solution. *Computational Materials Science*, 201, 110860. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2021.110860>

- Rincón Castrillo, E. D., García Pabón, J. J., & Bermúdez Santaella, J. R. (2019). Estado Del Arte De Las Celdas de Combustible. *Revista Colombiana De Tecnología De Avanzada (CTA)*, 1(33).
<https://doi.org/10.24054/16927257.v33.n33.2019.3320>
- Shin, Y. K., Gai, L., Raman, S., & van Duin, A. C. T. (2016). Development of a ReaxFF Reactive Force Field for the Pt-Ni Alloy Catalyst. *Journal of Physical Chemistry A*, 120(41), 8044–8055.
<https://doi.org/10.1021/acs.jpca.6b06770>
- te Velde, G., Bickelhaupt, F. M., Baerends, E. J., Fonseca Guerra, C., van Gisbergen, S. J. A., Snijders, J. G., & Ziegler, T. (2001). Chemistry with ADF. *Journal of Computational Chemistry*, 22(9), 931–967.
<https://doi.org/10.1002/JCC.1056>
- Vyas, A. N., Saratale, G. D., & Sartale, S. D. (2020). Recent developments in nickel based electrocatalysts for ethanol electrooxidation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(10), 5928–5947.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.218>
- Xu, Y., Lu, F., Liu, K., & Ma, C. (2021). Thermodynamic Study of Adsorption Capacity between Metal Film and Optical Crystal: Adsorption Energy of Ni Films on LiNbO3 Substrates. *Crystals*, 11(11), 1273.
<https://doi.org/10.3390/cryst11111273>
- Yang, R., An, L., Zhang, Y., Zhang, N., Dai, T., & Xi, P. (2019). Atomic Insights of Iron Doping in Nickel Hydroxide Nanosheets for Enhanced Oxygen Catalysis to Boost Broad Temperature Workable Zinc–Air Batteries. *ChemCatChem*, 11(24), 6002–6007. <https://doi.org/10.1002/cctc.201901634>
- Zhang, Z., Zhang, T., & Lee, J. Y. (2018). Enhancement Effect of Borate Doping on the Oxygen Evolution Activity of α -Nickel Hydroxide. *ACS Applied Nano Materials*, 1(2), 751–758.
<https://doi.org/10.1021/acsanm.7b00210>
- Zou, C., Shin, Y. K., van Duin, A. C. T., Fang, H., & Liu, Z. K. (2015). Molecular dynamics simulations of the effects of vacancies on nickel self-diffusion, oxygen diffusion and oxidation initiation in nickel, using the ReaxFF reactive force field. *Acta Materialia*, 83, 102–112.
<https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.09.047>



Estudio del desarrollo corporal de bovinos cruzados Wagyu-Brahman en el trópico húmedo, Panamá Study of body development of Wagyu-Brahman crossbred cattle in the humid tropics, Panama

Pedro Guerra Martínez¹ José L. Bernal Rosas¹ Carlos I. Martínez Delgado² Arístides A. Villarreal Ruíz¹
<https://orcid.org/0000-0001-6731-3624>

María M. De Gracia Victoria¹

Olegario Ibarra-Guerra¹

¹Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega”. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá

²Sub Centro de Innovación Agropecuaria de Hato Chamí. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá

Enviado el 2 de enero de 2023. Aceptado el 22 de 3 de 2023.

Resumen

El objetivo principal fue estudiar el desarrollo corporal de bovinos cruzados Wagyu-Brahman bajo condiciones del trópico húmedo. Los datos provienen de la EEG-CMO-IDIAP (2008-2014). Las variables dependientes fueron: peso al nacimiento (PN), peso vivo (PVKG), cambio de peso vivo (CPV), tasa relativa de crecimiento (TRC), largo corporal (LC), altura a la cadera (AC) y perímetro torácico (PT). Los grupos raciales del padre (GRP) fueron: BRH y WG. Los grupos raciales de la madre (GRM) fueron: BRH, CRUCE, WG50 y WGF1. Los grupos raciales de la progenie (GRANI) fueron; WG25, WG50, WG75 y WGF1. Los datos se analizaron mediante un modelo lineal mixto donde año (YR) y época dentro del año [EP(YR)] fueron efectos aleatorios. El GRP y GRM(GRP) fueron efectos fijos. Además, PVKG, LC, AC y PT de cada GRANI fueron regresados con un modelo no lineal de Brody con la edad. Progenies de BRH tuvieron mayor PN (7,6 %), CPV (20,4 %) y TRC (10,8 %). El GRP como WG, y GRM como WGF1, BRH y CRUCE tuvieron mayor PN (31,5 kg), CPV (0,535 kg/d) y TRC (0,42 %), respectivamente. El modelo de Brody ajustó bien ($P < 0,01$) a los datos de cada GRANI. Se concluye que las variables del desarrollo corporal de los animales fueron afectadas por GRP y GRM(GRP) y que los efectos aleatorios de YR y EP(YR) permitieron reducir sesgos. El modelo no lineal de Brody ajustó bien a los datos de las variables de desarrollo corporal.

Palabras claves: crecimiento, desarrollo corporal, Wagyu, bovinos cruzados, modelo mixto, modelo no lineal.

Abstract

The main objective was to study the body development of crossbred Wagyu-Brahman bovines under humid tropical conditions. Data came from EEG-CMO-IDIAP (2008-2024). Dependent variables were birth weight (PN), live weight (PVKG), live weight change (CPV), relative growth rate (TRC), body length (LC), hip height (AC), and thorax perimeter (PT). Sire breed group (GRP) were BRH and WG. Dam breed group (GRM) were BRH, CRUCE, WG50, and WGF1. Progeny breed group (GRANI) were WG25, WG50, WG75, and WGF1. Data were analyzed by a mixed linear model where year (YR) and season within year [EP(YR)] were randoms and GRP and GRM(GRP) were fixed. Besides, PVKG, LC, AC, and PT for each GRANI were regressed with a Brody non-linear model on age. Brahman progenies had higher PN (7,6 %), CPV



(20,4 %) and TRC (10,8 %). The GRP like WG, and GRM like WGF1, BRH, and CRUCE had higher PN (31,5 kg), CPV (0,535 kg/d), and TRC (0,42 %), respectively. Brody non-linear model adjusted well ($P < 0,01$) to data of each GRANI. It was concluded that body development variables of the animals were affected by GRP and GRM(GRP) and random effects of YR and EP(YR) allowed to reduce bias. The Brody non-linear model adjusted well to the body development data.

Keywords: body development, crossbred bovines, growth, mixed model, non-linear model, Wagyu

Introducción

La ganadería bovina es una de las actividades agropecuarias más importante de Panamá, pero su participación porcentual al Producto Interno Bruto (PIB) se ha visto limitada por una serie de factores. La relación del Producto Interno Bruto Agropecuario PIBA/PIB, de acuerdo con INEC (2023a), en 2007 era 4.0 %, pero para 2019 fue 2,1 %. Sin embargo, el PIBA en balboas para 2007 fue de B/. 688,8 millones y para 2019 fue B/. 908,0 millones. Ha habido una baja porcentual en la participación del sector agropecuario (incluyendo la ganadería bovina), pero en términos de balboas ha aumentado. Por otra parte, la participación del sector ganadero en suplir proteína animal a la población de Panamá, también se ha visto afectada. Datos de INEC (2023b) señalan que, en el 2007, el consumo de carne avícola *per capita* fue 46.3 kg y de carne bovina de 16.2 kg (186 % más alto que la carne bovina), pero en 2018 está relación cambió drásticamente, siendo el consumo de carne avícola de 52.4 kg, mientras que de carne bovina fue 12.8 kg (309 % más alto que la carne bovina).

Los datos citados anteriormente indican que el consumidor panameño le da mayor relevancia a la carne de aves por su valor monetario, suavidad o ternera y su presencia en casi todas las comunidades de Panamá. De continuar esta tendencia una gran cantidad de bovinos aptos para el sacrificio quedarán en los potreros creando una situación de sobrecarga, poniendo en riesgo la persistencia de las pasturas y la estabilidad económica de las familias que viven de estos sistemas de producción bovinos. Por lo tanto, la salida más viable del exceso de animales y sus productos es la exportación. Sin embargo, el INEC (2023a) también indica que las importaciones (Valor CIF, en miles de B/.) de animales vivos y productos del reino animal, en donde también se involucra el bovino y sus productos han aumentado de B/. 270,140 en 2017 a B/. 276,845 en 2021, quitándole espacio a nuestros productos bovinos nacionales.



Por otra parte, las exportaciones han estado peor. En Valor CIF (en miles de B/.), las exportaciones de productos animales, incluyendo productos del bovino, cambio de B/. 179,877 en 2017 a B/. 122,781 en 2021. Características organolépticas como la suavidad, color de la carne, color de la grasa, grado de calidad y grado de rendimiento nos limita tener acceso a mercados internacionales y nacionales exigentes, pero con mejores precios para el ganadero y procesador.

Una estrategia para mejorar la eficiencia bio-económica del Sistema Vaca-Ternero y Ceba Bovina es el cruzamiento interracial con razas y cruces adaptadas al trópico húmedo como el Brahman (*Bos indicus*) y razas especializadas para producir carne de alta calidad capaz de competir en mercados locales e internacionales. Un biotipo animal que ha despertado mucho interés a nivel mundial es el Wagyu. La carne más cara y saludable del mundo es la Kobe (nombre dado en los Estados Unidos) y es producida por la raza Wagyu (Wa=ganado; Gyu=japonés). Se caracteriza por su alta fertilidad, facilidad al parto, madurez temprana, temperamento dócil, gran habilidad de marmoleado, su carne contiene dos veces más ácidos grasos monoinsaturado (MUFA), es más suave, color de la carne y grasa más llamativos al consumidor y su textura es más fina (Gotoh et al. 2014).

En la Estación Experimental de Gualaca "Carlos M. Ortega del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) se estudia desde 2004 en la Fase IV de la actividad de Evaluación de Germoplasma Bovino, la sub-línea Tajima o Tajiri de la línea Kuroge Wagyu, por su tipo de marmoleado, en cruzamiento terminal de dos y tres razas (Guerra Martínez, 2015).

Actualmente, hay poca información y estudios sobre el comportamiento del desarrollo corporal de bovinos cruzados con Wagyu y Brahman en pastoreo bajo condiciones del trópico húmedo que nos permita adquirir un nivel de recomendación de estos cruces a los ganaderos.

Materiales y Métodos

Localización del estudio: El estudio se realizó en la Estación Experimental de Gualaca "Carlos M. Ortega" del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá localizado en Gualaca, provincia de Chiriquí, República de Panamá, ubicada a 8°39'20" latitud norte y 82°10'10" longitud oeste. El clima pertenece al ecosistema Bosque Húmedo Tropical (Holdridge, 1979). La precipitación media anual es de 4.200 mm,



temperatura media anual de 26,9 °C, humedad relativa media anual de 72,5 % y velocidad del viento media anual de 2,64 km/h (ETESA, 2018).

Fuente de datos: Los datos provienen de los animales nacidos (progenies) en el período 2008 a 2014. Los meses de nacimiento se agruparon en dos épocas: época seca (ESC) y época lluviosa (ELL). Así los meses de enero, febrero y marzo se agruparon en ESC y el resto en ELL.

Grupos raciales: El grupo racial de los sementales (GRP) fueron Brahman (BRH) y Wagyu (WG). Los grupos raciales de las madres (GRM) fueron: BRH, CRUCE (50 % *Bos taurus* raza terminal + 25 % *Bos taurus* maternal + 25 % Brahman); WG50 (50 % Wagyu + 25 % *Bos taurus* + 25 % Brahman) y WGF1 (50 % Wagyu + 50 % Brahman). Para los análisis de regresión de crecimiento y desarrollo, los grupos genéticos las progenies (GRANI) fueron: WG25 (25 % Wagyu + 75 % Brahman); WG50 (50 % Wagyu + 25 % *Bos taurus* + 25 % Brahman); WG75 (75 % Wagyu + 25 % Brahman) y WGF1 (50 % Wagyu + 50 % Brahman).

Base de alimentación: los animales desde el nacimiento hasta los siete meses de edad (destete) estuvieron con sus madres. Estos animales pastorearon el pasto *Brachiaria humidicola* CIAT 679 (*Urochloa humidicola*) fertilizada (60, 30 y 20 kg/ha/año de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente) con acceso a sal mineralizada. En la época seca, las vacas y terneros fueron suplementados a través de estrategias como: raciones (granos, soya y subproductos de molinería del arroz), ensilado de maíz y caña de azúcar picada (*Saccharum officinarum*).

Salud del hato: los animales se desarrollaron bajo un régimen sanitario que involucraba el control y prevención de endoparásitos y ectoparásitos; además fueron vacunados contra Pierna Negra, Septicemia Hemorrágica y Carunco Sintomático.

Variables dependientes: Para el presente estudio se tomaron en cuenta las siguientes variables dependientes.

a.- Peso al nacimiento (PN): es el peso vivo del animal inmediatamente después del nacimiento.

b.- Peso vivo corporal (PVKG): es el peso vivo obtenido en cada momento de toma de información.

c.- Cambio de peso vivo por día de edad (CPV): es el cambio de peso vivo por día entre la fecha de la toma de información de campo y la fecha de nacimiento (período de evaluación).

$$CPV = \frac{(PVi - PN)}{(fi - fN)}$$

Donde:

PN = peso vivo al nacimiento, $PVGK_i$ = peso vivo del animal en el i-ésimo período de evaluación, f_i = fecha de la i-ésima toma de datos (evaluación), f_N = fecha de nacimiento.

d.- Tasa relativa de crecimiento: es una medida del CPV relativa al peso promedio en el intervalo de tiempo de la evaluación. Fórmula modificada de Cundiff y Gregory (1977).

$$TRC = \frac{\frac{CPV}{PVi - PVN}}{2} \times 100$$

e.- Largo corporal (LC): es la distancia entre la articulación escapula-humeral con la articulación íleon-femoral, medida en centímetros (figura 1).

f.- Altura a la cadera (AC): es la distancia entre el punto a nivel de los huesos ileones y el suelo (figura 1).

g.- Perímetro torácico (PT): es la distancia total alrededor del corazón del animal, ligeramente después de miembros anteriores (figura 1).



Figura 1. Zonas en el animal (WGF1) donde se midió Largo Corporal (LC), Altura a la Cadera (AC) y Perímetro Torácico (PT).



Análisis de varianza de los datos: La información colectada (PN, CPV y TRC) se analizó mediante un modelo lineal mixto anidado. También se consideró ajustar por los “grados de libertad efectivos” con la técnica de Satterthwaite (1946) al considerar que las muestras son independientes pero desigual varianza muestral. Al considerar la alta variabilidad entre algunas variables dependientes, se seleccionó un nivel de alfa menor al 5 % ($\alpha=0,05$).

El modelo mixto en el lenguaje de matrices fue el siguiente:

$$\hat{Y} = X\beta + ZU + \varepsilon$$

Donde:

\hat{Y} = vector de respuesta, X = diseño de matriz conocida para efectos fijos: GRP (efecto del grupo racial del padre) y GRM(GRM) (efecto del grupo racial de la madre anidado en el grupo racial del padre), β = vector de parámetros de efectos fijos desconocidos, Z = diseño de matriz conocida para efectos aleatorio: YR (efecto del año de nacimiento del animal y EP(YR) (efecto de la época, época seca y época lluviosa, anidada en el año de nacimiento del animal), U = vector de parámetros de efectos aleatorios desconocidos y ε = vector de errores aleatorios (normal e independientemente distribuidos). En este modelo estadístico se hizo mayor énfasis en los efectos fijos [GRP y GRM(GRP)]. El efecto del sexo del ternero fue excluido del análisis por resultar no significativo ($P>0,05$).

En este procedimiento para modelos mixtos, se utilizó la opción de Máxima Verosimilitud Restringida (REML) que invoca la estimación por máxima verosimilitud restringida. El procedimiento REML calcula correctamente los componentes de varianza de los efectos fijos y aleatorios con datos desbalanceados.

Análisis con modelos no lineales: Las variables de crecimiento como peso vivo al momento de cada pesaje (PVKG) y desarrollo como ALT, PT y LC fueron regresadas con la edad por cada grupo racial de la progenie (GRANI) mediante el siguiente modelo no lineal de Brody (Domínguez Viveros et al. 2013; Guerra Martínez et al. 2016).

$$\hat{Y}_{ij} = \beta_0(1 - \beta_1 * e^{-c*t}) + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

\hat{Y}_{ijk} = es la i-ésima estimación de variable de respuesta de interés del j-ésimo grupo racial, β_0 = es el peso adulto o asintótico en kg, β_1 = es la pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento o desarrollo,



$e = 2,71828$, t = edad del animal en días, c = tasa de crecimiento relativa al peso adulto en $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ y ε_{ij} = es el error aleatorio con distribución normal e independiente.

Los parámetros se estimaron utilizando el modelo de regresión no lineal por el método de Marquardt (1963). El máximo número de convergencia fue establecido en 15. El proceso iterativo fue considerado tener convergencia cuando:

$$(\text{SCE}_{j-1} - \text{SCE}_j) / (\text{SCE}_j + 10^{-6}) > c$$

Donde:

SCE = suma de cuadrado del error después de haber fijado la función a los datos;

j = rondas de iteración, $c = 10^{-8}$.

Resultados

La tabla 2 presenta los resultados del análisis de varianza con un modelo mixto para las características relacionadas al peso al nacimiento (PN), cambios de peso vivo (CPV) y tasa relativa de crecimiento (TRC).

Tabla 2. Cuadrados medios de los efectos aleatorios para las variables relacionadas al crecimiento y desarrollo corporal

FUENTE DE VARIACIÓN	CUADRADOS MEDIOS			
	GI	PN	CPV	TRC
YR	6	139,323 ***	0,880 ***	0,565 ***
EP(YR)	4	150,077 ***	0,679 ***	0,004 ^{ns}
CV, %		9,2	20,8	39,9
R ²		61,4	88,5	85,8

PN = Peso al nacer; CPV = cambio de peso vivo diario; TRC = tasa relativa de crecimiento.

YR=año; EP=época del año; CV = Coeficiente de Variación; R² = Coeficiente de determinación.

*** P<0,001; ** P<0.01; *P<0,05; ns = no significativo.

De acuerdo con la tabla 2, el efecto aleatorio YR fue altamente significativo (P<0,001) en las tres variables, mientras EP(YR) lo fue para PN y CPV (P<0,001), pero no así para TRC (P>0,05).



La tabla 3 muestra que los efectos fijos de GRP fueron altamente significativos ($P < 0,01$) para PN y CPV, pero no para la TRC ($P > 0,05$). Por otra parte, el efecto GRM(GRP) resultó altamente significativo ($P < 0,01$) para PN y significativo ($P < 0,05$) para TRC, pero resultó no significativo ($P > 0,05$) para CPV.

Tabla 3. Prueba tipo III para efectos fijos (modelo mixto) de las variables relacionadas al crecimiento y desarrollo corporal.

VARIABLES	EFFECTOS	gl Num	gl Den	Valor-F
PN	GRP	1	135	6,51**
	GRM(GRP)	4	137	2,96**
CPV	GRP	1	134	16,98**
	GRM(GRP)	4	134	1,17 ^{ns}
TRC	GRP	1	138	1,31 ^{ns}
	GRM(GRP)	4	138	2,05*

PN=peso al nacer; CPV=cambio de peso vivo; TRC=tasa relativa de crecimiento.

gl Num= grados de libertad del numerador; gl Dem=grados de libertad del denominador

GRP=grupo racial del padre; GRM=grupo racial de la madre.

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; ns=no significativo

Terneros de padres BRH fueron 7,6 % más pesados al nacimiento ($P < 0,05$) que terneros de padres WG (tabla 4). Además, terneros cuyas madres fueron WG50 pesaron 3,4 % más que cuando las madres fueron WGF1, ambos con padres BRH ($P > 0,05$). Por otro lado, terneros de madres BRH y WGF1 fueron en promedio más pesados que los terneros de madres CRUCE y WG50 ($P < 0,05$). Con padres WG, los terneros de madres BRH y WGF1 fueron en promedio 6.8% más pesados que terneros de madres CRUCE y WG50.

Tabla 4. Medias ajustadas por mínimos cuadrado (medias ± error estándar de la media) para características de desarrollo corporal por grupo racial del padre y madre del animal.

Grupo Padre	Racial	Grupo Racial de la Madre	Características Corporales ¹		
			PN, kg	CPV, kg/d	TRC, %
BRH			32,7±2,0 ^a	0,615±0,207 ^a	0,41±0,14 ^a
WG			30,4±1,8 ^b	0,511±0,206 ^b	0,37±0,14 ^a
BRH		WG50	33,3±2,2 ^a	0,592±0,209 ^a	0,40±0,15 ^a
BRH		WGF1	32,2±2,1 ^a	0,639±0,208 ^a	0,41±0,15 ^a
WG		BRH	31,4±1,8 ^a	0,535±0,206 ^a	0,36±0,14 ^b
WG		CRUCE	29,1±1,9 ^b	0,495±0,206 ^a	0,42±0,15 ^a
WG		WG50	29,7±2,1 ^{ab}	0,501±0,208 ^a	0,37±0,15 ^{ab}
WG		WGF1	31,5±1,9 ^a	0,514±0,207 ^a	0,33±0,15 ^b

PN = peso nacimiento; CPV = cambio de peso vivo; TRC = tasa relativa de crecimiento.

¹Media ajustada con la misma letra entre el grupo racial de padre y entre grupo racial de la madre dentro del grupo racial del padre difieren entre sí al 5% de probabilidad estadística.

El mayor CPV se reportó ($P < 0,05$) en terneros de padres BRH, superando en 20.4 % a los terneros de padres WG (tabla 4). En terneros de padres BRH, el CPV fue diferente entre madres WG50 y WGF1 en un 7.9 % ($P < 0,05$). Por otra parte, cuando el padre fue WG, las diferencias en CPV no fueron diferente ($P > 0,05$) entre los terneros de los cuatro GRM con rango de 0,535 a 0,495 en terneros de madres BRH y CRUCE, respectivamente.

Investigaciones sobre curvas de crecimiento y desarrollo con el ganado Wagyu y sus cruces son muy escasas. Las ecuaciones no lineales para la curva de crecimiento de los cuatro grupos raciales y su R^2 fueron: WG25: $PV = 476,0 \pm 43,2(1 - e^{-0,00177 \pm 0,0004 * t})$, $R^2 = 98,5$ %; WG50: $PV = 390,9 \pm 23,0(1 - e^{-0,00169 \pm 0,00124 * t})$, $R^2 = 93,3$ %; WG75: $PV = 497,6 \pm 55,9(1 - e^{-0,00122 \pm 0,000233 * t})$, $R^2 = 97,3$ % y WGF1: $PV = 521,9 \pm 25,8(1 - e^{-0,00125 \pm 0,000145 * t})$, $R^2 = 98,0$ %.

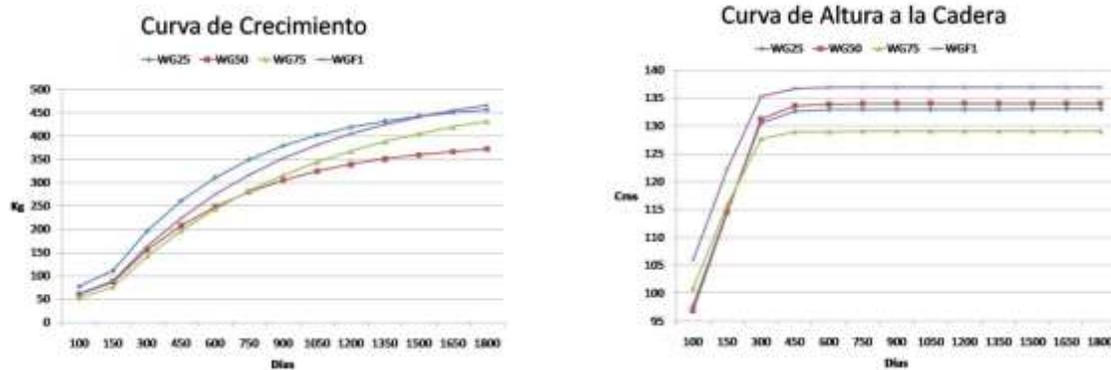


Figura 2. Curva de crecimiento corporal y de la altura a la cadera en función de la edad y grupo racial del animal.

Las ecuaciones del modelo no lineal para curva de la altura a la cadera fueron: WG25: $ALT = 133,0 \pm 2,3(1 - e^{-0,0133 \pm 0,0023 * t})$, $R^2 = 99,5 \%$, WG50: $ALT = 134,0 \pm 2,8(1 - e^{-0,0129 \pm 0,0048 * t})$, $R^2 = 99,4 \%$, WG75: $ALT = 129,1 \pm 1,9(1 - e^{-0,0152 \pm 0,0020 * t})$, $R^2 = 99,4 \%$ y WGF1: $ALT = 136,9 \pm 1,1(1 - e^{-0,0149 \pm 0,0023 * t})$, $R^2 = 99,5 \%$

La mayor ATL la alcanzó el grupo racial WGF1 con 136,9 cm y con un 6,0 % menor el grupo racial WG75. Sin embargo, la mayor pendiente relativa a la tasa de desarrollo se estimó en los animales WG75 con $0,0152 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, pero la menor pendiente fue 18,3 % menor en el WG50 (figura 2).

Las ecuaciones del modelo no lineal para la curva del largo corporal son las siguientes: WG25: $LC = 177,2 \pm 3,6(1 - e^{-0,0092 \pm 0,0014 * t})$, $R^2 = 99,4 \%$; WG50: $LC = 177,0 \pm 4,5(1 - e^{-0,0112 \pm 0,0017 * t})$, $R^2 = 99,1 \%$; WG75: $LC = 167,0 \pm 2,8(1 - e^{-0,0104 \pm 0,0013 * t})$, $R^2 = 99,3 \%$ y WGF1: $LC = 186,7 \pm 2,5(1 - e^{-0,0101 \pm 0,0003 * t})$, $R^2 = 99,1 \%$.

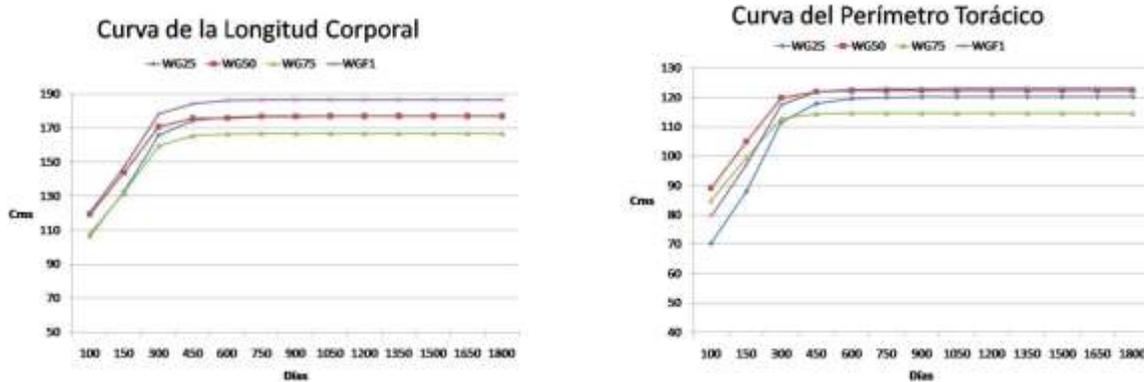


Figura 3. Curva de longitud corporal y perímetro torácico en función de la edad y grupo racial del animal.

El mayor LC (asintótico) se encontró en animales WGF1 con $186,7 \pm 2,5$ cm y con el más corto en el WG75 (11,8 % más corto que el WGF1). Pero la mayor pendiente de la curva relativa a la tasa de desarrollo del LC fue para WG50 con $0,0112 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ y la menor para WG25 (-21,7 %, figura 3).

Las ecuaciones del modelo no lineal para la curva del PT son las siguientes:

WG25: $PT = 120,2 \pm 4,6(1 - e^{-0,0088 \pm 0,0024 * t})$, $R^2 = 98,0 \%$; WG50: $PT = 122,3 \pm 4,0(1 - e^{-0,0130 \pm 0,0083 * t})$, $R^2 = 98,5 \%$; WG75: $PT = 114,7 \pm 3,0(1 - e^{-0,0135 \pm 0,0030 * t})$, $R^2 = 98,3 \%$ y WGF1: $PT = 123,0 \pm 1,9(1 - e^{-0,0141 \pm 0,0005 * t})$, $R^2 = 98,6 \%$.

Los animales WG50 resultaron de mayor PT (asintótico) con 122,3 cm y el de menor PT fue el WG75 con 114,7 cm (figura 3). La mayor pendiente de la curva del PT relativa a la tasa de desarrollo del PT se encontró con animales WG75 con $0,0135 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$, pero la menor en los animales WGF1 (-229,3 %).

Discusión

Con PN de $31,6 \text{ kg} \pm 6,2$ kg de terneros de padres Wagyu, fueron reportados por Cafe et al. (2009), el cual es muy cercano al reportado en este estudio. Además, indicó una CPV pre-destete de $0,713 \pm 0,177$ kg/d, lo cual permitió un peso al destete de $183,0 \pm 41,0$ kg.



En Australia, Hearnshaw et al. (2001) reportaron PN de terneros cruzados de padres Wagyu de 30,5 kg en machos y 28,3 kg en hembras. De acuerdo con Casas et al. (2012) cuando la raza Wagyu fue utilizada como raza paterna cruzada con hembras Angus, Hereford y MARC III el peso promedio al nacimiento fue $36,3 \pm 0,8$ kg, la ganancia diaria de peso (GDP) pre-destete fue de 0,870 kg/d y el peso al destete ajustado a 205 días fue de 214 kg. La GDP de este estudio fue mucho mayor a la reportada en el presente estudio. Además, Cundiff et al. (2001) del programa de Evaluación de Germoplasma del USDA en Clay Center, Nebraska reportaron PN de terneros de padres WG de 36,5 kg y peso vivo ajustado a los 200 días de 208,5 kg. Por otra parte, Leão Fialho et al. (2015), en Brasil, encontraron en terneros de padres WG con PN de 40,0 kg con una CPV de 0.650 kg/d para obtener un peso al destete ajustado a 205 días de 173,2 kg.

Cuando el GRP fue WG, terneros de madres CRUCE presentaron la mayor TRC ($0,42 \pm 0,15$ %), pero no fue diferente ($P > 0,05$) de terneros de madres WG50 ($0,37 \pm 0,15$ %) y estos terneros no difirieron ($P > 0,05$) de aquellos de madres BRH y WGF1. En Gualaca, Panamá, Guerra Martínez et al. (2013) también reportaron que el PN de terneros WGF1 fue de $28,2 \pm 1,0$ kg con una CPV pre-destete de $0,728 \pm 0,022$ kg/d y peso al destete ajustado a 205 días de $177,4 \pm 7,4$ kg con una TRC de $0,758 \pm 0,026$ %.

En Brasil, Leão Fialho et al. (2015) encontraron TRC más alta a las encontradas en este estudio. Con terneros hijos de padres WG, la TRC fue de 0,610% y al tomar en cuenta el grupo racial del ternero, las TRC para animales $\frac{1}{2}$ WG + $\frac{1}{2}$ Nelore, $\frac{1}{2}$ WG + $\frac{1}{2}$ Brangus y $\frac{1}{2}$ WG + $\frac{1}{4}$ Brangus + $\frac{1}{4}$ Nelore fueron 0,603 %, 0,616 % y 0,614 %, respectivamente. Además, Casas et al. (2012) reportó TRC para terneros hijos de padres WG de 0,695 %.

La figura 2 muestra que, a los 1800 días de edad, la curva de crecimiento tiene a estabilizarse en los cuatro grupos raciales. El mayor peso asintótico se observó en los animales WGF1 con 521,9 kg, aunque la mayor pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento se obtuvo con animales WG25 con $0,00177 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ (figura 3). De acuerdo con Guerra Martínez et al. (2016) con el modelo de Brody y WGF1 reportaron peso adulto o asintótico de $354,5 \pm 13,0$ kg y para 3R (50%WG+25 % *Bos taurus*+25 % Brahman) de $363,1 \pm 11,2$ kg. En este mismo estudio la pendiente de la curva relativa a la tasa de crecimiento fue de $0,00299 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ para animales WGF1 y de $0,00287 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ para animales 3R. En Australia, Afolayan et al. (2007) reportó con terneros WGF1 de padres WG, los pesos vivos al destete,



a los 400 días y a los 600 días de edad, en promedio de $256,2 \pm 2,3$; $320,0 \pm 2,9$ y $420,6 \pm 6,2$ kg, respectivamente.

Conclusiones

- El modelo mixto utilizado funcionó eficientemente en detectar diferencias significativas de los efectos aleatorios y fijos.
- Se demostró una gran variabilidad en las significancias entre las respuestas encontradas por los efectos fijos de GRP y GRM(GRP) dependiendo de las variables en estudio.
- Terneros de padres BRH mostraron mayor PN, CPV y TRC independientemente del GRM por sus efectos genéticos.
- La curva de PV fue superior en animales WG25, mientras que los animales WGF1 desarrollaron más las curvas de ALT, LC y PT.

Referencias

- Afolayan, R. A., Pitchford, W. S., Deland, M. P. B. y McKiernan, W. A. (2007). Breed variation and genetic parameters for growth and body development in diverse beef cattle genotype. *Animal*, 1:13-20. <https://doi.org/10.1017/S1751731107257933>
- Cafe, L. M., Hennessy, D. W., Hearnshaw, H., Morris, S. G. y Greenwood, P. L. (2009). Consequences of prenatal and preweaning growth, intake and efficiency of Piedmontese- and Wagyu-sired cattle. *Animal Production Science* 49:461-467. <https://doi.org/10.1071/EA08089>
- Casas, E., Thallman, R. M. y Cundiff, L. V. (2012). Birth and weaning traits in crossbred cattle from Herford, Wagyu, Norwegian Red, Swedish Red and White, Wagyu and Friesian sires. *Journal of Animal Science*, 90:2916-2920. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4649>
- Cundiff, L. V. y Gregory, K. E. (1977). Beef cattle breeding. Bulletin no. 286. *Agricultural Information Bulletin U.S.* Department of Agriculture. USA. <http://www.agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19780291922>
- Cundiff, L. V., Wheeler, T. L., Shackelford, S. D., Koohmarie, M., Thallman, R. M., Gregory, K. E. y Van Vleck, L. D. (2001). Germplasm evaluation program-Progress Report No. 20. Roman L Hruska U.S. Meat Animal Research Center. *Agricultural Research Service*. United States Department of Agriculture. Clay Center, NE. USA. <https://digitalcommons.unl-edu/hruskareports/193>
- Domínguez Viveros, J., Rodríguez Almeida, F., Núñez Domínguez, R., Ramírez Valverde, R., Ortega Gutiérrez, J. y Ruíz Flores, A. (2013). Ajuste de modelos no-lineales y estimaciones de



- parámetros de crecimiento en bovino Tropicarne. *Agrociencia* 47(1):25-34.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v47n1/v47n1a3.pdf>
- ETESA. (2018). Hidrometeorología. Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A.
http://www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php
- Gotoh, T., Takahashi, H., Nishimura, T., Kuchida, K. y Mannen, H. (2014). Meat produced by Japanese Black cattle and Wagyu. *Animal Frontiers*, 4(4): 46-54. <https://doi.org/10.2527/af.2014-0033>
- Guerra Martínez, P. (13 de marzo de 2015). Oportunidades de la raza Wagyu en Panamá. (Sesión de Conferencias Pecuarias). Día del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Feria Internacional de San José de David, Chiriquí, Panamá.
- Guerra Martínez, P., González Murray, R. A., Ávila, M., Villarreal, A., Quiel Batista, R. A., Ibarra, O. y De Gracia Victoria, M. M. (22 al 26 de abril de 2013). Resultados preliminares del comportamiento de terneros Wagyu y sus cruces bajo pastoreo en el trópico húmedo de Chiriquí, Panamá (Resumen de presentación de la Conferencia). 58^{ava} Reunión del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales. La Ceiba, Atlántida. Honduras. <http://www.dicta.hn/files/2013,-PCCMCA,-Memoria-tecnica-pdf>
- Guerra Martínez, P., Quiel Batista, R. A., Martínez Delgado, C. I. y De Gracia Victoria, M. M. (2016). Modelos no-lineales aplicados a datos de crecimiento de bovinos cruzados con Wagyu. *Ciencia Agropecuaria*, 25:1-21. <http://www.idiap.gob.pa/2017/07/10/ciencia-agropecuaria-n-25/>
- Hearnshaw, H., Hennessy, D. W., Greenwood, P. L., Harper, G. S. y Morris, S. (2001). Gestation length, birth traits and preweaning growth of Wagyu-, Piedmontese- and Angus-sired calves. *Proceeding of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics*, 14:337-340. <http://www.aaabg.org/livestocklibrary/2001/ab01079-pdf>
- Holdridge, L. R. (1979). Ecología basada en zonas de vida. 3^a Edición. H. Jiménez Saa (Ed). *Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA)*. San José, Costa Rica.
<http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo-INEC. (2023a). Situación pecuaria. Dirección de Estadística y Censo. Instituto Nacional de Estadística y Censo. Contraloría General de la República. Panamá.
<http://www.inec.gob.pa/publicaciones/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo-INEC. (2023b). Panamá en cifras. Dirección de Estadística y Censo. Instituto Nacional de Estadística y Censo. Contraloría General de la República. Panamá.
<http://www.inec.gob.pa/publicaciones/>
- Leão Fialho, F. R., Gonçalves de Rezende, M. P., de Souza, J. C., Moreira da Silva, R., Monteiro de Oliveira, N. y Vargas da Silveira, P. (2015). Performance in preweaning pure and crossbred calves in the Mato Gross do Sul Pantanal region, Aquidauana, Mato Gross do Sul State, Brazil. *Acta Scientiarum. Animal Science. Moringá*, 37(4):437-442.
<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v37i4.28345>
- Marquardt, D. W. (1963). An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society of Industry Applied Mathematics*, 11:431.434. <https://doi.org/10.1137/0111030>
- Satterthwaite, F. E. (1946). An approximate distribution of estimates of variance components. *Biometric Bulletin* 2:110-114. <https://doi.org/10.2307/3002019>

Los microplásticos en el entorno acuático: Un vistazo a la cinética, mecanismo de degradación, impacto ambiental y en la salud humana

Microplastics in the aquatic environment: An overview of kinetics, degradation mechanism, environmental and human health impact

Víctor Cuadra¹

<https://orcid.org/0009-0009-8422-5728>

Ritzela Lezcano^{1,2}

<https://orcid.org/0000-0001-6433-3793>

Carmelo Bayard¹

<https://orcid.org/0000-0003-4235-2015>

José Villarreal¹

<https://orcid.org/0000-0003-1157-3130>

José Robinson-Duggon¹

<https://orcid.org/0000-0003-4784-7420>

Mario Luis Miranda-Montenegro¹

<https://orcid.org/0000-0002-1958-841X>

¹Universidad de Panamá. Laboratorio de la calidad del aire y Agua (LACAYA). ²Universidad de Colonia.

Autor correspondiente: mario.mirandam@up.ac.pa

Enviado el 9 de febrero de 2023. Aceptado el 22 de marzo de 2023.

Resumen

Desde su origen en la década de los años 50's, los plásticos se han convertido en un material omnipresente en la vida diaria de nuestras sociedades. A pesar de su amplia gama de usos, la lenta degradación de estos materiales en el ambiente ha ocasionado un problema de contaminación emergente de consecuencias aún desconocidas. El objetivo de esta revisión es el de evaluar el impacto que ha tenido la introducción de los microplásticos en nuestros ecosistemas. Reportes recientes indican que la presencia de microplásticos se ha extendido hasta ambientes prístinos como los polos del planeta. La degradación de los materiales plásticos, en partículas de menor tamaño llamados microplásticos cuando su diámetro es menor a 5 mm y su ingesta por organismos diversos plantea la pregunta de cuál es el efecto a largo plazo en la salud de los ecosistemas. Efectos adversos en el metabolismo de microorganismos, peces y en el ser humano han sido ampliamente documentados. Igualmente, se ha reportado la capacidad de estas partículas de movilizar contaminantes ambientales como metales pesados, hidrocarburos, e incluso virus. Entre estos efectos adversos se incluyen alteraciones metabólicas, formación de especies reactivas de oxígeno y modificación de procesos inflamatorios. Podemos concluir que la presencia de las partículas de microplásticos están presentes en diversos nichos de los ecosistemas terrestres y que su degradación introduce compuestos químicos potencialmente disruptivos en ellos. Por lo que entender el origen, transformación, rol en el transporte y liberación de contaminantes en el ambiente nos permitirá diseñar estrategias para minimizarlos.

Palabras claves: FTIR-ATR, Microscopia UV, océanos, peces, salud humana.

Abstract

Since their origin in the 1950s, plastics have become a ubiquitous material in the daily life of our societies. Despite their wide range of uses, the slow degradation of these materials in the environment has led to an emerging pollution problem with unknown consequences. The objective of this review is to assess the impact of the introduction of microplastics into our ecosystems. Recent reports indicate that

microplastics have spread to pristine environments such as the planet's poles. The degradation of plastic materials into smaller particles called microplastics when their diameter is less than 5 mm and their ingestion by various organisms raises the question of is the long-term effect on ecosystem health.

Adverse effects on the metabolism of microorganisms, fish, and humans have been widely documented. The ability of these particles to mobilize environmental pollutants such as heavy metals, hydrocarbons, and even viruses has also been reported. These adverse effects include metabolic alterations, formation of reactive oxygen species, and modification of inflammatory processes. We can conclude that microplastic particles are present in various niches of terrestrial ecosystems and that their degradation introduces potentially disruptive chemical compounds into them. Understanding the origin, transformation, and role in transporting and releasing pollutants into the environment will allow us to design strategies to minimize them.

Key words: Fishes, FTIR-ATR, human health, oceans, UV Microscopy

Introducción

Desde su aparición en la década de los 50's los plásticos han tenido un papel omnipresente en la vida diaria de nuestras sociedades. Debido a su durabilidad y bajo costo, los plásticos reemplazaron a otros materiales de uso común como el vidrio y la madera, convirtiéndose en el material preferido para la fabricación de artefactos y adminículos de uso cotidiano (Martínez González et al., 2022). Los plásticos por definición son materiales poliméricos de carácter orgánico; sintético o semisintéticos. Dependiendo del tipo y sus propiedades relacionadas (deformaciones plásticas, elásticas, ductilidad, dureza) los mismos han tenido aplicaciones importantes para el desarrollo humano como la fabricación de tuberías, aislantes, botellas, fibras, entre otros (Martínez González et al., 2022).

Para el 2020 se estimó una producción total de 387 millones de toneladas métricas, todo esto a pesar de haberse registrado una disminución de hasta un 0.3 % debido a la pandemia por el COVID-19, siendo China el mayor productor de plásticos con un 32 %, seguido de Norte América y Europa con 18 % y 17 % respectivamente. Como consecuencia del manejo inadecuado de los desechos plásticos, actualmente estos materiales son considerados como contaminantes emergentes (Lebreton & Andrady, 2019; Shanmugan et al., 2020; Statista, 2020). Se ha estimado que por cada kilómetro de océano hay un promedio de 13,000 trozos de desechos plásticos (Nations, 2020). Una vez que estos residuos alcanzan la superficie de los cuerpos de agua, la exposición continua a la luz solar (UV-VIS), fuerzas mecánicas, actividad microbiana y altas temperaturas, el proceso de degradación da origen a los microplásticos

(MPs). Por definición, los MPs son fragmentos sólidos con tamaños nominales menores a 5.0 mm (Pinto da Costa J. Rocha-Santos T.A.P., 2017).

Estas partículas pueden sufrir también la redisolución de algunos de sus componentes químicos, los cuales son adsorbidos por la materia orgánica disuelta (DOM) y movilizados a través de los diferentes nichos ecológicos en el ambiente marino, modificando de esta forma los equilibrios fisicoquímicos que mantienen los ciclos productivos en las aguas oceánicas (Miranda et al. 2018). A pesar de su relativa estabilidad bajo condiciones normales de uso, algunos de estos materiales han resultado ser una fuente de metabolitos secundarios con efectos adversos, los que van desde la modificación de las condiciones biogeoquímicas en la superficie del océano, la disrupción de ciclos reproductivos y afectaciones metabólicas (Miranda et al. 2018). Coincidentemente, los países localizados en la zona tropical resultan ser algunos de los mayores productores o receptores de residuos plásticos. Gran parte de estos países carecen de protocolos eficientes para el manejo de desechos, lo que limita el desarrollo sostenible de estas comunidades (Aragaw, 2021; Delvalle de Borrero et al., 2020; Pattiaratchi et al., 2022). La situación actual indica que los MPs se encuentran en todo el planeta, reportándose su presencia desde los polos hasta las profundidades marinas (Pinto da Costa J., Rocha-Santos T.A.P., 2017). Esta revisión tiene como objetivo poner en perspectiva el impacto inmediato de la degradación e ingesta de estos contaminantes en la salud de los organismos marino-costeros y la salud humana.

1. Cinética y mecanismos de degradación de los microplásticos

Los microplásticos son considerados como contaminantes emergentes. Dependiendo de las características químicas de la matriz polimérica de los MPs, la cinética de degradación puede producir metabolitos secundarios de interés biológico (Arpia et al. 2021). Al ser expuestos a estímulos degradativos los MPs continúan modificando sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas, favoreciendo la formación de nanoplasticos (NPs). La fotodegradación ocurre principalmente por la absorción de un fotón de alta energía, así como en la radiación infrarroja, luz visible y la ultravioleta (UV) (Debroy et al. 2022).

A partir del mecanismo de degradación de los polímeros se puede predecir si los productos de la degradación de estos son absorbidos por organismos en el medio ambiente. Por ejemplo, la degradación de los polímeros vinílicos a menudo ocurre por el proceso de generación de un radical libre y,

posteriormente una propagación y degradación generalmente termo-oxidativa (Scott, 1995). Staggs en 1998, propuso un marco teórico para caracterizar la cinética de degradación térmica de los polímeros mediante el modelo de Arrhenius en un solo paso. Para fines prácticos de la aplicación del modelo teórico, se puede suponer que la reacción es de primer orden. Este hecho implica que cuando se modela la degradación de las muestras poliméricas, el error implicado en el uso de la cinética de primer orden es pequeño. La aproximación equivalente de primer orden se aplica a una profundidad global del modelo de degradación del polímero para predecir las velocidades de pérdida de masa en experimentos a escala. Las curvas de la velocidad de pérdida de masa obtenidas con la aproximación de primer orden se comparan bien frente al modelo completo de enésimo orden (Staggs, 1999).

En ambientes marinos la fotodegradación puede ocurrir en ausencia de oxígeno o en presencia de oxígeno, las cuales se pueden ser aceleradas por el aumento de la temperatura (Gewert et al. 2015). En el caso particular del poliestireno, las rutas degradativas han sido ampliamente estudiadas (figura 1). Dos mecanismos para explicar la fotodegradación de polímeros han sido propuestos, el primero procede a través de la reacción directa de oxígeno singlete con el polímero, mientras que el segundo implica la producción de radicales y la reacción posterior con oxígeno (Geuskens & David, 1979). Los mecanismos de fotodegradación han sido ampliamente estudiados, cuando las moléculas son foto sensibilizadas y generan oxígeno singlete, el proceso se conoce como mecanismo tipo II (Mailhot et al., 2003). Si el proceso de activación se da a través de la producción de radicales se les conoce como mecanismo tipo I (Cáceres et al. 2017; Robinson-Duggon et al. 2017, 2018, 2019). La determinación de la velocidad de degradación del polímero y su redisolución puede ser determinada utilizando un modelo cinético de acuerdo con la ley de Arrhenius, según la siguiente ecuación 1:

$$\frac{dC}{dt} = Ae^{-Ea/RT}$$

Ecuación 1.

Donde dC es la variación en la concentración del polímero con respecto al tiempo (t), A es la constante y Ea es la energía de activación del proceso de degradación (Jenekhe et al. 1983).

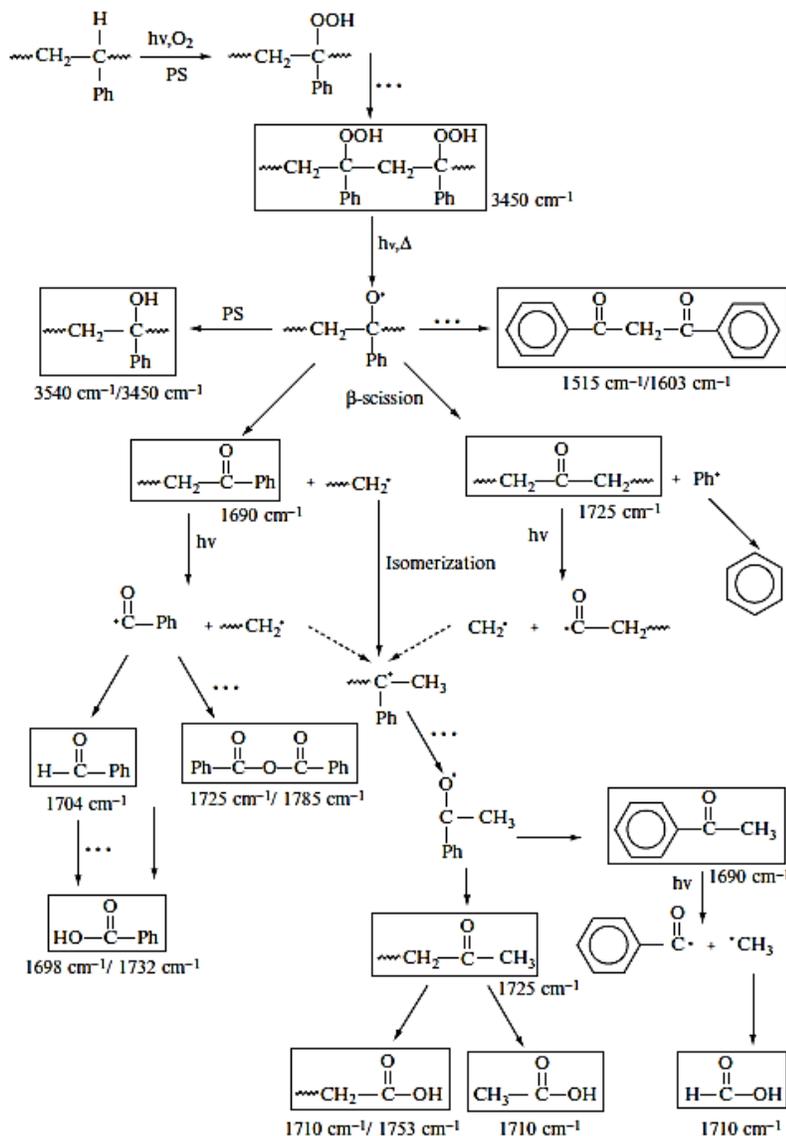


Figura 1. Degradación fotolítica para el poliestireno (Mailhot et al. 2003). Nótese los Productos principales identificados en el espectro infrarrojo.

2. Ingesta por organismos marinos

La fotodegradación de los MPs, es considerada como una fuente potencial en la producción de disruptores endocrinos, así como especies reactivas de oxígeno (ROS) (Zhu K. et al. 2020). Su acoplamiento con metales pesados como el mercurio puede causar efectos neurotóxicos y daños oxidativos en diversas especies marinas. Esta ingesta produce efectos negativos sobre los organismos, debido principalmente

a que durante la digestión los MPs son atacados por enzimas gástricas que favorecen la desorción y disolución de los compuestos adsorbidos.

Se ha estudiado efectos adversos de la ingesta de MPs, tal como se reporta para *Dicentrarchus labrax* (Lubina europea). La ingesta de altas concentraciones de microplásticos actuaron inhibiendo la actividad de la acetilcolinesterasa en los organismos estudiados (Barbosa et al., 2018). Igualmente, estudios controlados reportan que la ingesta de microperlas plásticas de poliestireno de 0.05 μm de diámetro presentaron una mayor toxicidad ocasionando un bajo crecimiento poblacional, baja fecundidad, reproducción y una alta mortandad en *Daphnia Magna* (Aljaibachi & Callaghan 2018; Besseling et al. 2017). Específicamente, en el continente americano la detección de MPs en peces de agua dulce ha sido reportada en Perú, Brazil, México, en ríos y lagos de altitud en EE. UU. (Driscoll et al. 2021; Martínez-Tavera et al. 2021; Pegado et al. 2018; Silva-Cavalcanti et al 2017). En 2019 se reporta por primera vez en Argentina la presencia de MPs en tracto digestivo de peces marinos (*Micropogonias furnieri*) de uso comercial colectados en el estuario de la bahía Blanca (Arias et al. 2019). Las muestras fueron analizadas con un estereomicroscopio y se encontraron 241 piezas de MPs, de las cuales un 60.8 % eran fibras, 28.9 % se correspondían a pellets, 8.6 % a fragmentos y 1.4 % a láminas. Las dimensiones oscilaban entre 0.98 y 5.0 mm.

Del mismo modo, en un estudio realizado en peces del estuario de Santa Marta, Ciénaga Grande Colombia se reportó la detección de MPs en los contenidos viscerales de 140 peces comprados en un mercado local (Calderón et al. 2019). De estos solo 17 especímenes (12.1 %) contenían MPs. De las cuatro especies encontradas, fue *Mugil incilis* (Salmonete) la que mostró la tasa más alta prevalencia de MPs, se reportó que cerca de un quinto de los individuos analizados contenía MPs y de estos, en 17 peces se encontraron solo 19 partículas de MPs. La clasificación de las partículas mostro que 17 eran fibras (89.5 %) and 2 (10.5 %) fueron fragmentos. Mientras que el poliéster y el polietileno fueron las fibras más comunes, también fueron identificadas fibras de nylon, acrílico, polietileno, y modacrílico, lo que sugiere una diversa variedad de fuentes.

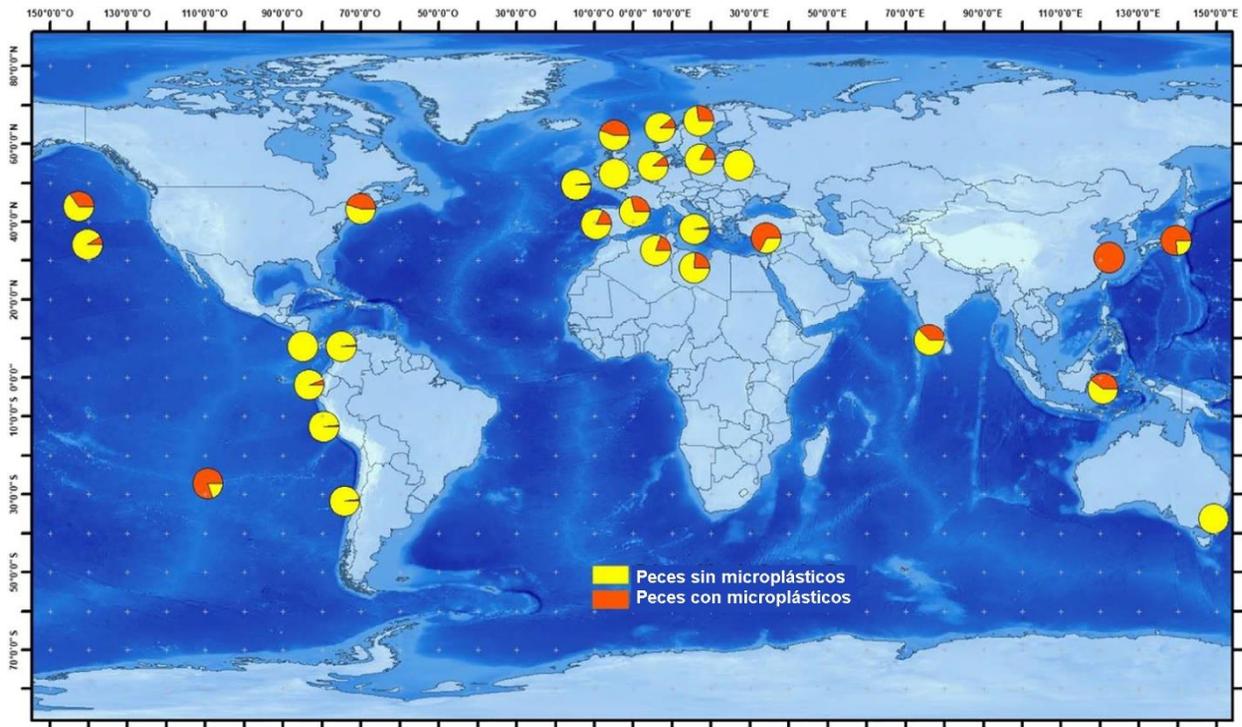


Figura 2. Proporción de peces plantívoros con y sin microplásticos en sus vísceras, reportados alrededor del mundo de acuerdo con (Ory et al. 2018).

Hasta el 2018 los estudios en peces plantívoros demostraban una baja prevalencia de ingestión de microplásticos, figura 2 específicamente en la región sureste del Océano Pacífico reporta la baja prevalencia de microplásticos en las vísceras de peces plantívoros colectados en las costas pacífica de Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Chile (Ory et al. 2018).

Sin embargo, durante el 2022, se reportó la presencia de MPs en especímenes de Arenque (*Opisthonema* sp.) del Pacífico central de Costa Rica. Los MPs fueron detectados en el 100 % de los individuos estudiados, con un promedio de 36.7 piezas por pez, de las cuales 79.5 % eran fibras y 20.5 % partículas. Se determinó que la mayoría de estas se correspondían con polipropileno. Este estudio demuestra la presencia de MPs en peces plantívoros, por lo que los autores proponen el uso de esta especie para la bio-monitorización de la contaminación por microplásticos en el Pacífico Oriental Tropical debido a su amplia distribución, la homogeneidad biométrica de los cardúmenes, el tipo de alimentación no selectiva y su posición en las redes alimentarias marinas (Bermúdez-Guzmán et al. 2020). Igualmente, en 2022 se reporta la presencia de microplásticos en siete especies de peces pelágicos y una especie de crustáceo bentónico, todos de alto nivel trófico en el Parque Nacional Marino Las Baulas, Costa Rica. Las partículas

de MPs fueron extraídas por medio de digestión química y posterior identificación visual del contenido del sistema digestivo de 56 individuos. De estos, un total de 90 piezas fueron extraídas del 89 % de los peces (93 % fibras) con 3.75 ± 1.70 MPs/pez. Se determinó una cantidad significativamente menor en los crustáceos con un total de 58 piezas extraídas del 76 % de los individuos analizados con 2.64 ± 1.36 MPs/jaiba (Astorga-Pérez et al. 2022).

Por otro lado, la capacidad de los MPs como vehículo de transferencia de microorganismos entre los ecosistemas se ve corroborada por detección de la presencia del rotavirus (causante diarrea y malestar estomacal) en la superficie de los MPs (Moresco et al. 2022). Los resultados de este estudio indican que este virus puede sobrevivir hasta tres días y seguir siendo infeccioso al adherirse a microplásticos en el agua dulce, lo que se traduce en peligro potencial a la salud, toda vez estos virus están presentes en agua potable, alimentos, y cuerpos de aguas superficiales.

Estas evidencias sugieren los organismos ingieren estas partículas independientemente de su rol en los ecosistemas, sean estos plantívoros o carnívoros y que las interacciones a largo plazo de estos organismos con los MPs ingeridos pueden modificar las rutas metabólicas, la evolución de los estados embrionarios y las respuestas a los procesos inflamatorios en los organismos acuáticos.

La degradación de estos materiales trae consigo la movilización de compuestos adheridos en su superficie. Siendo esta una de las rutas de transferencia de compuestos xenobióticos. El impacto de la presencia de estos materiales en el desarrollo embrionario de diversas especies es una preocupación mundial. Para entender este riesgo potencial, se ha evaluó la toxicidad de los pellets de plástico vírgenes (crudos) y de los pellets de playa para el desarrollo de los embriones de erizos de mar (*Lytechinus variegatus*), simulando las transferencias de compuestos químicos al agua intersticial y a la columna de agua mediante ensayos de interfaz pellet-agua y elutriación, respectivamente. Ambos ensayos mostraron que los pellets vírgenes presentaban efectos tóxicos, potenciando el desarrollo embrionario anómalo en un 58,1 % y un 66,5 %, respectivamente (Nobre et al. 2015). Aunque estudios previos sugieren que la presencia de MPs de PE adicionados con 3-Benzofenona no exhiben toxicidad aguda al ser ingeridos por microorganismos adultos (*Brachionus plicatilis*, *Tigriopus fulvus*, *Acartia clausi*, *Mytilus galloprovincialis*), lo que sugiere la existencia de la afectación de mecanismos metabólicos diferentes (Beiras et al. 2018).

Igualmente, la exposición del Zooplancton a los MPs ha sido estudiada en la bahía de Charleston, Carolina del Sur, los resultados de este estudio indicaron que el Zooplancton se alimentaba con MPs de forma selectiva (Payton et al. 2020). En este estudio menos del 1 % de los organismos analizados mostraron evidencias de haber ingerido MPs.

Este fenómeno origina la suposición de la posibilidad de transferencia de MPs a través de la cadena trófica. Basados en esta observación, se determinó que los salmones a través de la ingesta de zooplancton podrían ingerir de 2 a 7 partículas de microplásticos al día en juveniles y ≤ 91 partículas en especímenes adultos (Desforges et al 2015). Esta suposición se ve confirmada por reportes que indican la transferencia de MPs hacia el atún amarillo (*Thunnus albacares*) por la ingestión de peces voladores (*Cheilopogon rapanouiensis*) de Rapa Nui, Isla de Pascua (Chagnon et al., 2018). Esto representa un riesgo debido a la traslocación/transferencia de las partículas de MPs, y los compuestos adsorbidos por ellos, en la cadena trófica.

Debido a las diferencias de densidades de los MPs y los NPs estos se distribuyen en diferentes secciones de la columna de agua, por lo que organismos filtradores como las esponjas y moluscos han sido objeto de estudio como posibles bioindicadores de la presencia de MPs en la base de la columna de agua en sistemas marino-costeros. En Panamá, específicamente en la Bahía de Saigón, Bocas del Toro, estudios recientes reportan la presencia de MPs en tejidos de las foraminíferas *Aplysina cauliformis*, *Amphimedon compressa*, *Callyspongia vaginalis*, *Ircinia campana*, *Mycale laevis* y *Niphates erecta* (Fallon & Freeman, 2021). Estos estudios indican que los organismos filtradores en efecto están acumulando MPs en su sistema digestivo, aunque aún no es concluyente el resultado de esta ingesta.

Uno de los efectos prominentes encontrados tras la ingesta de los MPs es la generación de procesos inflamatorios. Ha sido reportado que los microplásticos poseen la capacidad de generar estrés oxidativo, ya sea debido a la liberación de especies oxidantes adsorbidas en su superficie o de manera alternativa por medio de las especies reactivas de oxígeno que son liberadas durante las respuestas inflamatorias (Chen et al., 2019; Kelly & Fussell, 2012; Valavanidis et al., 2013). Finalmente, recientemente se ha reportado la generación de estrés oxidativo en el pez cebra *Danio rerio*, (Lu et al. 2016), así como en ratones (Deng et al. 2017), luego de haber sido expuestos a MPs.

3. Impacto en la salud humana

La diseminación de los MPs y los NPs en todos los ecosistemas del planeta ha generado gran preocupación para la salud humana (Cai et al. 2022; Delvalle de Borrero et al. 2020; Driscoll et al. 2021; Everaert et al. 2018). A pesar de su relativamente alta estabilidad, estos materiales a través de sus procesos degradativos pueden liberar metabolitos sospechosos de afectar los procesos metabólicos en diversos organismos (Akhbarizadeh et al. 2017; Aljaibachi & Callaghan, 2018; Chen et al. 2019). Estudios recientes han demostrado la presencia de microplásticos en heces, líquido amniótico y en el torrente sanguíneo de humanos. Estos se corresponden con los cuatro polímeros más utilizados en las industrias: Tereftalato de polietileno, polietileno, polímeros de estireno y polipropileno (Ivleva, 2021; Leslie et al. 2022; Yan et al., 2022). Debido los hallazgos de microplásticos en la sangre humana, recientemente en el ámbito de la medicina se está estudiando como estos contaminantes afectarán el sistema nervioso y reproductivo y su posible participación en aparición de enfermedades como el cáncer (Caputi et al. 2022; Leslie et al. 2022; Yee et al. 2021).

Los mecanismos citotóxicos inducidos por los MPs y NPs son diversos y los mismos han sido revisados recientemente (Shi et al. 2022). Podemos mencionar brevemente que se ha reportado que pueden incluir diferentes mecanismos tales como el daño de membrana, el estrés oxidativo, la inducción de factores inflamatorios, la genotoxicidad, la apoptosis, la alteración de la homeostasis energética y el metabolismo, y los mismos se encuentran estrechamente interconectados entre sí (Shi et al. 2022). En esta sección se aborda brevemente los efectos de citotoxicidad inducidos por el estrés oxidativos y por la homeostasis energética y el metabolismo.

Las especies reactivas de oxígeno (ROS por sus siglas en inglés) tales como el radical anión superóxido ($O_2^{\bullet-}$) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) son esenciales para mantener los procesos fisiológicos normales, mientras que un exceso de ROS puede sobrecargar el sistema de defensa antioxidante, lo cual da lugar a la condición conocida como estrés oxidativo (Sies & Jones, 2020). El estrés oxidativo puede ocasionar daño a las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos, los aminoácidos de las proteínas y los lípidos de las membranas biológicas (Akter et al. 2018). El estrés oxidativo es considerado como el mecanismo más probable para la toxicidad inducida por MPs y NPs (Prata et al.2020).

Se ha informado que los MPs y los NPs pueden inducir la producción de ROS en diversas líneas celulares (Meindl et al. 2015; Poma et al. 2019; Schirinzi et al. 2017). En el caso de los NPs de PE y PS, se ha reportado que la generación de ROS solo fue significativa en células T98G posterior al tratamiento con NPs PE (0.05 mg/L, 0.1 mg/L), mientras que para los NPs de PS fue evidenciado una mayor generación de ROS para las células T98G (0.05, 0.1, 1 y 10 mg/L de NPs), así como para las células HeLa (1 y 10 mg/L de NPs) (Schirinzi et al. 2017). Los investigadores mencionan que este efecto puede estar asociado con el menor tamaño de las partículas PS. Además, es importante resaltar que tanto la química de la superficie como el tipo de célula pueden estar relacionados con las diferencias en la magnitud y el perfil de la actividad de las ROS (Ruenraroengsak & Tetley, 2015).

Recientemente, fueron reportados los cambios metabólicos resultantes de los NPs por medio de un estudio metabolómico utilizando la espectrometría de masas en tándem (Lim et al. 2019). Los investigadores reportaron que la exposición a NPs de PS (10 y 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$) ocasionaba cambios metabólicos asociados a la autofagia y al estrés en el retículo endoplasmático, los cuales eran relacionados con el aumento de aminoácidos y metabolitos intermediarios del ciclo del ácido tricarboxílico (TCA), los cuales desempeñan un rol importante en la regulación de la resistencia celular a los efectos citotóxicos (Lim et al. 2019). En la actualidad existen pocos estudios sobre la influencia en el metabolismo celular de los MPs y NPs. Algunas investigaciones *in vivo* han demostrado que estos pueden ocasionar la perturbación en la homeostasis energética y en el metabolismo (Yang et al. 2020; Yin et al. 2019; Zhao et al. 2020). Debido a la similitud en el metabolismo de diferentes especies de animales, se genera la teoría de la posibilidad que en los seres humanos los MPs y los NPs puedan tener efectos metabólicos similares tales como el aumento en el consumo de energía, reducir la ingesta de nutrientes o regular el metabolismo (Li et al. 2019; Prata et al. 2020). Es debido a esto que se hace imperativo las investigaciones, *in vitro* como *in vivo*, que puedan generar los conocimientos necesarios para llenar el vacío actual sobre el efecto de los MPs y NPs en el metabolismo humano.

4. Seguimiento y detección de los MPs

El seguimiento de la degradación de los microplásticos ha sido estudiado extensamente (Cai et al. 2022; Day & Wiles, 1972; Hebner & Maurer-Jones, 2020; Lee et al., 2022; Sorasan et al., 2022; Yousif & Hadad, 2013; Zhu L. et al., 2020). Si bien es cierto que existen retos importantes en cuanto a la identificación de

los MPs y NPs debido a la complejidad de las matrices poliméricas, sus composiciones químicas y sus tamaños, se han desarrollado y adaptado metodologías para su análisis. Entre las metodologías usadas con mayor frecuencia en la detección, identificación y cuantificación de los microplásticos tenemos las siguientes:

4.1. Espectroscopia Infrarroja con transformada de Fourier con reflexión total atenuada (FTIR – ATR)

La reciente utilización de técnicas como la FTIR-ATR en el análisis de MPs y NPs permiten la identificación de los grupos funcionales incluidos en las estructuras de estos polímeros y ayudan a estudiar la evolución de los picos de absorción habitualmente asociados al envejecimiento ambiental de las poliolefinas, como los picos de estiramiento de hidroxilos y carbonilos, los picos relativos a la presencia de dobles enlaces (Hebner & Maurer-Jones, 2020; Ivleva, 2021; Sorasan et al., 2022; Zhu L. et al, 2020). La técnica de análisis infrarrojo (IR) tiene la característica de ser no destructiva, lo que permite el análisis de materiales sin que se afecte su estructura química. La misma se basa en el análisis de las vibraciones moleculares excitadas por la absorción de radiación en la región del infrarrojo medio en el espectro electromagnético en la región de $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ (figura 3).

El espectro resultante de la región de “huella dactilar” de los compuestos poliméricos permite la identificación inequívoca de la identidad de estos (Cowger et al., 2020; Ivleva et al., 2021, Pimpke et al., 2018). Sin embargo, debe señalarse que, para utilizar esta técnica efectivamente, las muestras deben ser secadas previamente para evitar la interferencia del agua en el ensayo. Esto debido a la característica intrínseca del espectro infrarrojo de la molécula de agua, el cual presenta una banda prominente en la región de la huella dactilar. Esta banda se convierte en una de las grandes desventajas en el análisis infrarrojo, debido a la superposición de picos, los que finalmente pueden traslaparse sobre las señales de los MPs, ocasionando la pérdida de sensibilidad.

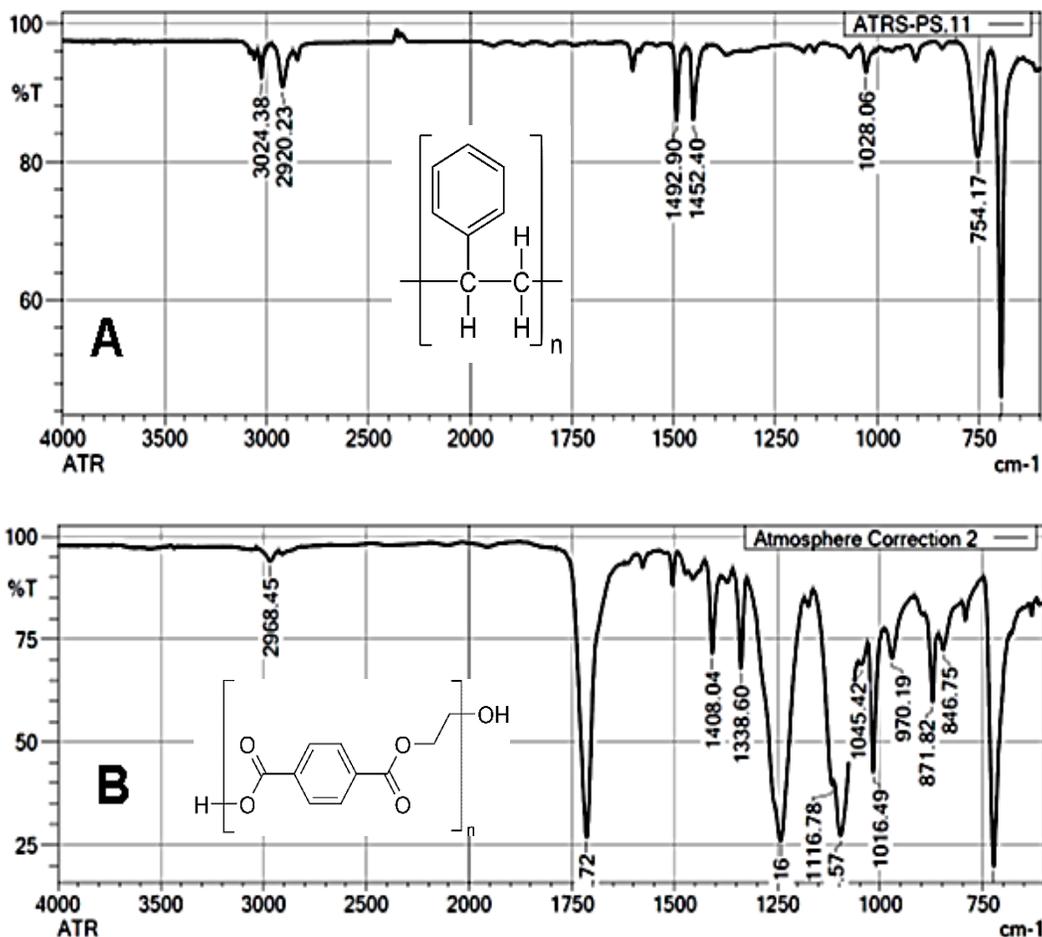


Figura 3. Espectro infrarrojo para (A) poliestireno y (B) polietileno tereftalato. Obsérvese en A las bandas características de benceno mono sustituido en la región de huella dactilar *c.a.* 729 cm^{-1} , así como la tensión C=C aromáticos en 1490 cm^{-1} . En B se puede observar claramente el estiramiento para grupo carbonilo en 1750 y los sobretonos correspondientes a un benceno *para* – sustituido en 1338 y 1408 cm^{-1} . Datos propios.

4.2 Microscopía Fluorescente

En contraste con la microscopía óptica, el principio de ensayo utilizado en la microscopía fluorescente (MF) se basa en la recolección de las longitudes onda emitidas por las muestras tras ser excitadas con longitudes de ondas seleccionadas apropiadamente a través del uso de dispositivos como láseres o filtros apropiados (figura 4). Tradicionalmente la MF ha sido utilizada en el estudio de especímenes biológicos y la presencia de estas partículas ingeridas por los organismos. Por lo que recientemente, la presencia de

MPs ingeridos por diversos organismos ha sido caracterizada utilizando microscopia fluorescente (Fu et al., 2020; Lichtman & Conchello, 2005).

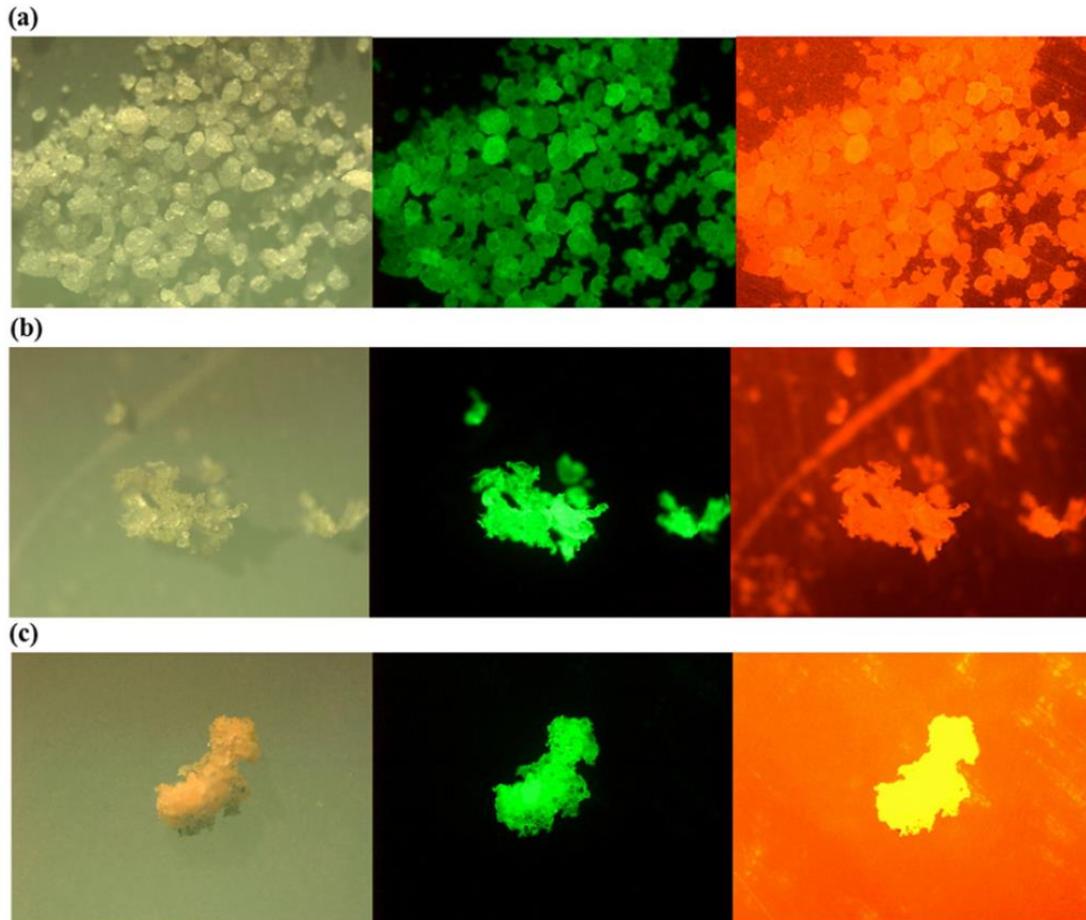


Figura 4. Identificación sistemática de microplásticos utilizando Nile Red como indicador. En el panel izquierdo la imagen al microscopio, el panel central muestra las imágenes producidas por un microscopio de fluorescencia, con longitudes emisión/excitación de 534-558 y 515-565 nm y en el panel derecho de 534-558 > 590nm para (a) polietileno (LDPE), (b) polipropileno (PP) y (c) poliestireno expandido, de acuerdo con (Shim et al., 2016).

Tras el descubrimiento de que los MPs aparecen con un color brillante debido a la auto fluorescencia, bajo el microscopio fluorescente la técnica evoluciono y se implementó como una herramienta de confirmación de presencia/ausencia de estos materiales en muestras ambientales (Piruska et al., 2005). Para lograr la óptima detección e identificación de los MPs, las muestras de MPs deben ser separadas, tratadas y teñidas con un fluoróforo que permita su observación, por ejemplo, el Nile Red (Shruti et al.,

2022). La separación de las partículas plásticas de muestras ambientales normalmente se realiza por diferencia de densidades utilizando sales inorgánicas como el NaCl, ZnCl₂, ZnBr₂, NaI, entre otras. En esta aproximación se resuspenden las partículas utilizando un medio de densidad superior al polímero y posteriormente se separan de la matriz para su posterior análisis (Cutroneo et al., 2021).

4.3 Citometría de flujo (CMF)

El uso de la citometría de flujo inicialmente fue destinado a la obtención de imágenes de alta resolución de células, bacterias y microorganismos (Fu et al., 2020; Sgier et al., 2016). Esta técnica se basa en la identificación de partículas fluyendo dentro de un fluido que es excitado por una radiación emitida por un láser para producir la dispersión de la luz y la emisión de fluorescencia (figura 5). Esta interacción permite obtener imágenes rápidas de alta resolución (Adan et al., 2017). Debido a las propiedades fluorescentes de los MPs, la CMF ofrece la oportunidad de obtener un análisis rápido y robusto para los MPs. Hay reportes sobre el uso de la CF en la detección de MPs en muestras ambientales y las características de los procesos de colonización de las superficies de estas partículas MPs (Fu et al., 2020; Kaile et al., 2020; Sgier et al., 2016).

Aunque la CMF debido a sus características de análisis en tiempo real, nos ayuda a superar las desventajas de métodos tradicionales más laboriosos para la detección e identificación de MPs, existen limitaciones que deben ser consideradas. Entre las principales podemos señalar que: 1) Los MPs deben ser suspendidos de forma individual en el citómetro de flujo, lo que no permite analizar las interacciones con otras partículas de MPs u otras partículas presentes. 2) La estandarización de la técnica no es completa, lo que puede complicar la inter-comparación de resultados. 3) La aparición de artefactos visuales producto de compensaciones espectrales propias del ensayo, entre otras (Fu et al., 2020). A pesar de estas limitaciones, se han implementado protocolos con la finalidad de estandarizar el ensayo (Ivleva, 2021).

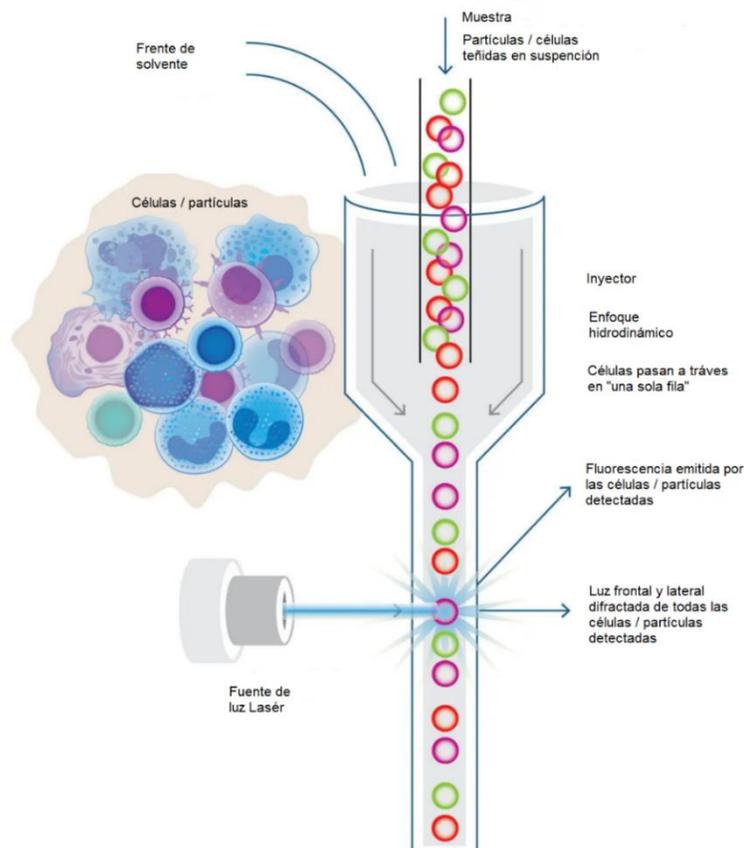


Figura 5. Esquema del análisis por citometría de flujo, de acuerdo con (Picot et al., 2012). Obsérvese la emisión de fluorescencia y la difracción simultánea de la radiación incidente.

Conclusión

El desarrollo industrial ha dado origen a grandes avances tecnológicos, así como también la creación de sustancias y materiales de gran utilidad para nuestras sociedades. La aparición de materiales residuales producto del manejo inadecuado de algunas de estos materiales, específicamente los plásticos, ha dado origen a la dispersión de los MPs y NPs en casi todos los ecosistemas de nuestro planeta. Aunque inicialmente estos materiales se consideraban de bajo impacto en la salud de los ecosistemas y los seres humanos, recientemente se han documentado evidencias de modificaciones en el metabolismo tanto de organismos acuáticos, así como de los seres humanos. La comprensión del impacto que estos materiales, los compuestos que pueden transportar y liberar requiere del uso de técnicas clásicas y otras que han sido adecuadas para los propósitos de muestreos, caracterización y cuantificación de los orígenes, transformaciones y acumulación de estos materiales. Gracias a los desarrollos y adecuaciones

de estas técnicas estamos en el umbral de las respuestas a estas preguntas que surgen con la aparición de este contaminante emergente.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por la Vicerrectoría de investigación y posgrado (VIP) de la Universidad de Panamá, a través de la beca para profesores jóvenes 2018, número CUFI-2018-CNET-P-005. M.L. Miranda-Montenegro y J. Robinson-Duggon son financiados por el Sistema Nacional de Investigación (SNI) de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT).

Referencias

- Adan, A., Alizada, G., Kiraz, Y., Baran, Y., & Nalbant, A. (2017). Flow cytometry: basic principles and applications. In *Critical Reviews in Biotechnology* (Vol. 37, Issue 2, pp. 163–176). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.3109/07388551.2015.1128876>
- Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., & Moeinpour, A. (2017). Microplastics and potentially toxic elements in coastal sediments of Iran's main oil terminal (Khark Island). *Environmental Pollution*, 220, 720–731. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.038>
- Akter, M., Sikder, M. T., Rahman, M. M., Ullah, A. K. M. A., Hossain, K. F. B., Banik, S., Hosokawa, T., Saito, T., & Kurasaki, M. (2018). A systematic review on silver nanoparticles-induced cytotoxicity: Physicochemical properties and perspectives. *Journal of Advanced Research*, 9, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.10.008>
- Aljaibachi, R., & Callaghan, A. (2018). Impact of polystyrene microplastics on *Daphnia magna* mortality and reproduction in relation to food availability. *PeerJ*, 6, e4601. <https://doi.org/10.7717/peerj.4601>
- Aragaw, T. A. (2021). Microplastic pollution in African countries' water systems: a review on findings, applied methods, characteristics, impacts, and managements. *SN Applied Sciences*, 3(6), 629. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04619-z>
- Arias, A. H., Ronda, A. C., Oliva, A. L., & Marcovecchio, J. E. (2019). Evidence of Microplastic Ingestion by Fish from the Bahía Blanca Estuary in Argentina, South America. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102(6), 750–756. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02604-2>
- Arpía, A. A., Chen, W.-H., Ubando, A. T., Naqvi, S. R., & Culaba, A. B. (2021). Microplastic degradation as a sustainable concurrent approach for producing biofuel and obliterating hazardous environmental effects: A state-of-the-art review. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126381. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126381>
- Astorga-Pérez, A., Ulate-Naranjo, K., & Abarca-Guerrero, L. (2022). Presencia de microplásticos en especies marinas del Parque Nacional Marino las Baulas. *Revista Tecnología En Marcha*, pág. 27-38.

- Barboza, L. G. A., Vieira, L. R., Branco, V., Figueiredo, N., Carvalho, F., Carvalho, C., & Guilhermino, L. (2018). Microplastics cause neurotoxicity, oxidative damage and energy-related changes and interact with the bioaccumulation of mercury in the European seabass, *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758). *Aquatic Toxicology*, 195, 49–57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.12.008>
- Beiras, R., Bellas, J., Cachot, J., Cormier, B., Cousin, X., Engwall, M., Gambardella, C., Garaventa, F., Keiter, S., le Bihanic, F., López-Ibáñez, S., Piazza, V., Rial, D., Tato, T., & Vidal-Liñán, L. (2018). Ingestion and contact with polyethylene microplastics does not cause acute toxicity on marine zooplankton. *Journal of Hazardous Materials*, 360, 452–460. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.07.101>
- Bermúdez-Guzmán, L., Alpízar-Villalobos, C., Gatgens-García, J., Jiménez-Huezo, G., Rodríguez-Arias, M., Molina, H., Villalobos, J., Paniagua, S. A., Vega-Baudrit, J. R., & Rojas-Jimenez, K. (2020). Microplastic ingestion by a herring *Opisthonema* sp. in the Pacific coast of Costa Rica. *Regional Studies in Marine Science*, 38, 101367. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101367>
- Besseling, E., Quik, J. T. K., Sun, M., & Koelmans, A. A. (2017). Fate of nano- and microplastic in freshwater systems: A modeling study. *Environmental Pollution*, 220, 540–548. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.001>
- Cáceres, J., Robinson-Duggon, J., Tapia, A., Paiva, C., Gómez, M., Bohne, C., & Fuentealba, D. (2017). Photochemical behavior of biosupramolecular assemblies of photosensitizers, cucurbit[n]urils and albumins. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 19(3), 2574–2582. <https://doi.org/10.1039/C6CP07749H>
- Cai, Y., Li, C., & Zhao, Y. (2022). A Review of the Migration and Transformation of Microplastics in Inland Water Systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(1), 148. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/1/148>
- Calderon, E. A., Hansen, P., Rodríguez, A., Blettler, M. C. M., Syberg, K., & Khan, F. R. (2019). Microplastics in the Digestive Tracts of Four Fish Species from the Ciénaga Grande de Santa Marta Estuary in Colombia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 230(11), 257. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4313-8>
- Caputi, S., Diomedede, F., Lanuti, P., Marconi, G. D., di Carlo, P., Sinjari, B., & Trubiani, O. (2022). Microplastics Affect the Inflammation Pathway in Human Gingival Fibroblasts: A Study in the Adriatic Sea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7782. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/13/7782>
- Chagnon, C., Thiel, M., Antunes, J., Ferreira, J. L., Sobral, P., & Ory, N. C. (2018). Plastic ingestion and trophic transfer between Easter Island flying fish (*Cheilopogon rapanouiensis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from Rapa Nui (Easter Island). *Environmental Pollution*, 243, 127–133. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.042>
- Chen, Q., Allgeier, A., Yin, D., & Hollert, H. (2019). Leaching of endocrine disrupting chemicals from marine microplastics and mesoplastics under common life stress conditions. *Environment International*, 130, 104938. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104938>
- Cowger, W., Gray, A., Christiansen, S. H., DeFrond, H., Deshpande, A. D., Hemabessiere, L., Lee, E., Mill, L., Munno, K., Ossmann, B. E., Pittroff, M., Rochman, C., Sarau, G., Tarby, S., & Primpke, S. (2020). Critical Review of Processing and Classification Techniques for Images and Spectra in Microplastic Research. *Applied Spectroscopy*, 74(9), 989–1010. <https://doi.org/10.1177/0003702820929064>

- Cutroneo, L., Reboa, A., Geneselli, I., & Capello, M. (2021). Considerations on salts used for density separation in the extraction of microplastics from sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112216>
- Day, M., & Wiles, D. M. (1972). Photochemical degradation of poly(ethylene terephthalate). III. Determination of decomposition products and reaction mechanism. *Journal of Applied Polymer Science*, 16(1), 203–215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.1972.070160118>
- Debroy, A., George, N., & Mukherjee, G. (2022). Role of biofilms in the degradation of microplastics in aquatic environments. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(12), 3271–3282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jctb.6978>
- Delvalle de Borrero, D., Fábrega Duque, J., Olmos, J., Garcés-Ordóñez, O., Amaral, S. S. G. do, Vezzone, M., de Sá Felizardo, J. P., & Meigikos dos Anjos, R. (2020). Distribution of Plastic Debris in the Pacific and Caribbean Beaches of Panama. *Air, Soil and Water Research*, 13, 117862212092026. <https://doi.org/10.1177/1178622120920268>
- Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B., & Ren, H. (2017). Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Scientific Reports*, 7(1), 46687. <https://doi.org/10.1038/srep46687>
- Desforges, J.-P. W., Galbraith, M., & Ross, P. S. (2015). Ingestion of Microplastics by Zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 69(3), 320–330. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0172-5>
- Driscoll, S. C., Glassic, H. C., Guy, C. S., & Koel, T. M. (2021). Presence of Microplastics in the Food Web of the Largest High-Elevation Lake in North America. *Water*, 13(3), 264. <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/3/264>
- Everaert, G., van Cauwenberghe, L., de Rijcke, M., Koelmans, A. A., Mees, J., Vandegehuchte, M., & Janssen, C. R. (2018). Risk assessment of microplastics in the ocean: Modelling approach and first conclusions. *Environmental Pollution*, 242, 1930–1938. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.069>
- Fallon, B. R., & Freeman, C. J. (2021). Plastics in Porifera: The occurrence of potential microplastics in marine sponges and seawater from Bocas del Toro, Panamá. *PeerJ*, 9, e11638. <https://doi.org/10.7717/peerj.11638>
- Fu, W., Min, J., Jiang, W., Li, Y., & Zhang, W. (2020). Separation, characterization and identification of microplastics and nanoplastics in the environment. *Science of the Total Environment*, 721, 137561. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137561>
- Geuskens, G., & David, C. (1979). The photo-oxidation of polymers. A comparison with low molecular weight compounds. *Pure and Applied Chemistry*, 51(2), 233–240. <https://doi.org/10.1351/pac197951020233>
- Gewert, B., Plassmann, M. M., & Macleod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. In *Environmental Sciences: Processes and Impacts* (Vol. 17, Issue 9, pp. 1513–1521). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c5em00207a>
- Hebner, T. S., & Maurer-Jones, M. A. (2020). Characterizing microplastic size and morphology of photodegraded polymers placed in simulated moving water conditions. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(2), 398–407. <https://doi.org/10.1039/C9EM00475K>
- Ivleva, N. P. (2021). Chemical Analysis of Microplastics and Nanoplastics: Challenges, Advanced Methods, and Perspectives. *Chemical Reviews*, 121(19), 11886–11936. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00178>

- Jenekhe, S. A., Lin, J. W., & Sun, B. (1983). Kinetics of the thermal degradation of polyethylene terephthalate. *Thermochimica Acta*, 61(3), 287–299. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(83\)80283-4](https://doi.org/10.1016/0040-6031(83)80283-4)
- Kaile, N., Lindivat, M., Elio, J., Thuestad, G., Crowley, Q. G., & Hoell, I. A. (2020). Preliminary Results From Detection of Microplastics in Liquid Samples Using Flow Cytometry. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.552688>
- Kelly, F. J., & Fussell, J. C. (2012). Size, source and chemical composition as determinants of toxicity attributable to ambient particulate matter. *Atmospheric Environment*, 60, 504–526. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.039>
- Lebreton, L., & Andrady, A. (2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Communications*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7>
- Lee, S., Alam, M. B., Jung, M.-J., Lee, S., Liu, K.-H., Lee, S.-H., & Kim, S. (2022). Identification and Toxicity Evaluation of Water-Soluble Chemicals Generated by the Photooxidative Degradation of Expanded Polystyrene. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.938120>
- Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, 163, 107199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Li, X., Sun, X., & Carmeliet, P. (2019). Hallmarks of Endothelial Cell Metabolism in Health and Disease. *Cell Metabolism*, 30(3), 414–433. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2019.08.011>
- Lichtman, J. W., & Conchello, J.-A. (2005). Fluorescence microscopy. *Nature Methods*, 2(12), 910–919. <https://doi.org/10.1038/nmeth817>
- Lim, S. L., Ng, C. T., Zou, L., Lu, Y., Chen, J., Bay, B. H., Shen, H.-M., & Ong, C. N. (2019). Targeted metabolomics reveals differential biological effects of nanoplastics and nanoZnO in human lung cells. *Nanotoxicology*, 13(8), 1117–1132. <https://doi.org/10.1080/17435390.2019.1640913>
- Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., Ding, L., & Ren, H. (2016). Uptake and Accumulation of Polystyrene Microplastics in Zebrafish (*Danio rerio*) and Toxic Effects in Liver. *Environmental Science & Technology*, 50(7), 4054–4060. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00183>
- Mailhot, B., Rivaton, A., & Gardette, J. L. (2003). Photochemical Degradation of Styrenic Polymers. In *Modern Styrenic Polymers: Polystyrenes and Styrenic Copolymers* (pp. 703–725). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/0470867213.ch30>
- Martínez González, V. S., Guerrero Rivera, S., Mora-Longa, G., Klagges Ormeño, C., Moreno Araneda, M., Miranda Montenegro, M. L., Palacios Peñaranda, M. L., Chaurra Arboleda, A. M., Purca Cuicapusa, S. R., Robinson-Duggon, J., & Vega-Baudrit, J. R. (2022). La problemática de los micro y nanoplásticos en las costas americanas del Océano Pacífico. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e–34e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69783>
- Martinez-Tavera, E., Duarte-Moro, A. M., Sujitha, S. B., Rodriguez-Espinosa, P. F., Rosano-Ortega, G., & Expósito, N. (2021). Microplastics and metal burdens in freshwater Tilapia (*Oreochromis niloticus*) of a metropolitan reservoir in Central Mexico: Potential threats for human health. *Chemosphere*, 266, 128968. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128968>
- Meindl, C., Kueznik, T., Bösch, M., Roblegg, E., & Fröhlich, E. (2015). Intracellular calcium levels as screening tool for nanoparticle toxicity. *Journal of Applied Toxicology*, 35(10), 1150–1159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jat.3160>

- Miranda, M. L., Mustaffa, N. I. H., Robinson, T. B., Stolle, C., Ribas-Ribas, M., Wurl, O., & Zielinski, O. (2018). Influence of solar radiation on biogeochemical parameters and fluorescent dissolved organic matter (FDOM) in the sea surface microlayer of the southern coastal North Sea. *Elem Sci Anth*, 6(1), 15. <https://doi.org/http://doi.org/10.1525/elementa.278>
- Moresco, V., Charatzidou, A., Oliver, D. M., Weidmann, M., Matallana-Surget, S., & Quilliam, R. S. (2022). Binding, recovery, and infectiousness of enveloped and non-enveloped viruses associated with plastic pollution in surface water. *Environmental Pollution*, 308, 119594. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119594>
- Nations, U. (2020). Goal 6: Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all (U. N, Ed.). United Nations. <https://www.un.org/development/desa/disabilities/envision2030-goal6.html>
- Nobre, C. R., Santana, M. F. M., Maluf, A., Cortez, F. S., Cesar, A., Pereira, C. D. S., & Turra, A. (2015). Assessment of microplastic toxicity to embryonic development of the sea urchin *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea). *Mar Pollut Bull*, 92(1–2), 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.050>
- Ory, N., Chagnon, C., Felix, F., Fernández, C., Ferreira, J. L., Gallardo, C., Garcés Ordóñez, O., Henostroza, A., Laaz, E., Mizraji, R., Mojica, H., Murillo Haro, V., Ossa Medina, L., Preciado, M., Sobral, P., Urbina, M. A., & Thiel, M. (2018). Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 211–216. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.016>
- Pattiaratchi, C., van der Mheen, M., Schlundt, C., Narayanaswamy, B. E., Sura, A., Hajbane, S., White, R., Kumar, N., Fernandes, M., & Wijeratne, S. (2022). Plastics in the Indian Ocean – sources, transport, distribution, and impacts. *Ocean Sci.*, 18(1), 1–28. <https://doi.org/10.5194/os-18-1-2022>
- Payton, T. G., Beckingham, B. A., & Dustan, P. (2020). Microplastic exposure to zooplankton at tidal fronts in Charleston Harbor, SC USA. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 232, 106510. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106510>
- Pegado, T. de S. e S., Schmid, K., Winemiller, K. O., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L., & Giarrizzo, T. (2018). First evidence of microplastic ingestion by fishes from the Amazon River estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 814–821. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.035>
- Picot, J., Guerin, C. L., Le Van Kim, C., & Boulanger, C. M. (2012). Flow cytometry: retrospective, fundamentals and recent instrumentation. *Cytotechnology*, 64(2), 109–130. <https://doi.org/10.1007/s10616-011-9415-0>
- Pinto da Costa J., Rocha-Santos T.A.P., D. A. C. (2017). Characterization and Analysis of Microplastics. In T. A. P. Rocha-Santos & A. C. Duarte (Eds.), *Comprehensive Analytical Chemistry* (Vol. 75, p. i). Elsevier. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0166-526X\(17\)30014-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0166-526X(17)30014-4)
- Piruska, A., Nikcevic, I., Lee, S. H., Ahn, C., Heineman, W. R., Limbach, P. A., & Seliskar, C. J. (2005). The autofluorescence of plastic materials and chips measured under laser irradiation. *Lab on a Chip*, 5(12), 1348–1354. <https://doi.org/10.1039/B508288A>
- Poma, A., Vecchiotti, G., Colafarina, S., Zarivi, O., Aloisi, M., Arrizza, L., Chichiriccò, G., & di Carlo, P. (2019). In Vitro Genotoxicity of Polystyrene Nanoparticles on the Human Fibroblast Hs27 Cell Line. *Nanomaterials*, 9(9), 1299. <https://www.mdpi.com/2079-4991/9/9/1299>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, 702, 134455. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>

- Primpke, S., Wirth, M., Lorenz, C., & Gerdts, G. (2018). Reference database design for the automated analysis of microplastic samples based on Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(21), 5131–5141. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1156-x>
- Robinson-Duggon, J., Mariño-Ocampo, N., Barrias, P., Zúñiga-Núñez, D., Günther, G., Edwards, A. M., Greer, A., & Fuentealba, D. (2019). Mechanism of Visible-Light Photooxidative Demethylation of Toluidine Blue O. *The Journal of Physical Chemistry A*, 123(23), 4863–4872. <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.9b03588>
- Robinson-Duggon, J., Pérez-Mora, F., Dibona-Villanueva, L., & Fuentealba, D. (2018). Potential Applications of Cucurbit[n]urils Inclusion Complexes in Photodynamic Therapy. *Israel Journal of Chemistry*, 58(3–4), 199–214. <https://doi.org/10.1002/ijch.201700093>
- Robinson-Duggon, J., Pérez-Mora, F., Valverde-Vásquez, L., Cortés-Arriagada, D., de la Fuente, J. R., Günther, G., & Fuentealba, D. (2017). Supramolecular Reversible On–Off Switch for Singlet Oxygen Using Cucurbit[n]uril Inclusion Complexes. *The Journal of Physical Chemistry C*, 121(39), 21782–21789. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b07736>
- Ruenraroengsak, P., & Tetley, T. D. (2015). Differential bioreactivity of neutral, cationic and anionic polystyrene nanoparticles with cells from the human alveolar compartment: robust response of alveolar type 1 epithelial cells. *Particle and Fibre Toxicology*, 12(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s12989-015-0091-7>
- Schirinzi, G. F., Pérez-Pomeda, I., Sanchís, J., Rossini, C., Farré, M., & Barceló, D. (2017). Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. *Environmental Research*, 159, 579–587. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.043>
- Scott, G. (1995). Initiation processes in polymer degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 48(3), 315–324. [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(95\)00090-9](https://doi.org/10.1016/0141-3910(95)00090-9)
- Sgier, L., Freimann, R., Zupanic, A., & Kroll, A. (2016). Flow cytometry combined with viSNE for the analysis of microbial biofilms and detection of microplastics. *Nature Communications*, 7(1), 11587. <https://doi.org/10.1038/ncomms11587>
- Shanmugam, V., Das, O., Neisiany, R. E., Babu, K., Singh, S., Hedenqvist, M. S., Berto, F., & Ramakrishna, S. (2020). Polymer Recycling in Additive Manufacturing: an Opportunity for the Circular Economy. *Materials Circular Economy*, 2(1), 11. <https://doi.org/10.1007/s42824-020-00012-0>
- Shi, Q., Tang, J., Liu, R., & Wang, L. (2022). Toxicity in vitro reveals potential impacts of microplastics and nanoplastics on human health: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(21), 3863–3895. <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1951528>
- Shim, W. J., Song, Y. K., Hong, S. H., & Jang, M. (2016). Identification and quantification of microplastics using Nile Red staining. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1–2), 469–476. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.049>
- Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Roy, P. D., & Kutralam-Muniasamy, G. (2022). Analyzing microplastics with Nile Red: Emerging trends, challenges, and prospects. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127171. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127171>
- Sies, H., & Jones, D. P. (2020). Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 21(7), 363–383. <https://doi.org/10.1038/s41580-020-0230-3>

- Silva-Cavalcanti, J. S., Silva, J. D. B., França, E. J. de, Araújo, M. C. B. de, & Gusmão, F. (2017). Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environmental Pollution*, 221, 218–226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.068>
- Sorasan, C., Ortega-Ojeda, F. E., Rodríguez, A., & Rosal, R. (2022). Modelling the Photodegradation of Marine Microplastics by Means of Infrared Spectrometry and Chemometric Techniques. *Microplastics*, 1(1), 198–210. <https://www.mdpi.com/2673-8929/1/1/13>
- Staggs, J. E. J. (1999). Modelling thermal degradation of polymers using single-step first-order kinetics. *Fire Safety Journal*, 32(1), 17–34. [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(98\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(98)00026-5)
- Statista. (2020). Plastic production worldwide 2020. <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>
- Valavanidis, A., Vlachogianni, T., Fiotakis, K., & Loidas, S. (2013). Pulmonary oxidative stress, inflammation and cancer: respirable particulate matter, fibrous dusts and ozone as major causes of lung carcinogenesis through reactive oxygen species mechanisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(9), 3886–3907. <https://doi.org/10.3390/ijerph10093886>
- Yan, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., & Zhang, Y. (2022). Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status. *Environmental Science & Technology*, 56(1), 414–421. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03924>
- Yang, Y., Shao, H., Wu, Q., & Wang, D. (2020). Lipid metabolic response to polystyrene particles in nematode *Caenorhabditis elegans*. *Environmental Pollution*, 256, 113439. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113439>
- Yee, M. S., Hii, L. W., Looi, C. K., Lim, W. M., Wong, S. F., Kok, Y. Y., Tan, B. K., Wong, C. Y., & Leong, C. O. (2021). Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. *Nanomaterials (Basel)*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/nano11020496>
- Yin, L., Liu, H., Cui, H., Chen, B., Li, L., & Wu, F. (2019). Impacts of polystyrene microplastics on the behavior and metabolism in a marine demersal teleost, black rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Journal of Hazardous Materials*, 380, 120861. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120861>
- Yousif, E., & Haddad, R. (2013). Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review. *SpringerPlus*, 2(1), 398. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-398>
- Zhao, Y., Bao, Z., Wan, Z., Fu, Z., & Jin, Y. (2020). Polystyrene microplastic exposure disturbs hepatic glycolipid metabolism at the physiological, biochemical, and transcriptomic levels in adult zebrafish. *Science of the Total Environment*, 710, 136279. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136279>
- Zhu, K., Jia, H., Sun, Y., Dai, Y., Zhang, C., Guo, X., Wang, T., & Zhu, L. (2020). Long-term phototransformation of microplastics under simulated sunlight irradiation in aquatic environments: Roles of reactive oxygen species. *Water Research*, 173, 115564. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115564>
- Zhu, L., Zhao, S., Bittar, T. B., Stubbins, A., & Li, D. (2020). Photochemical dissolution of buoyant microplastics to dissolved organic carbon: Rates and microbial impacts. *Journal of Hazardous Materials*, 383, 121065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121065>

Phoretic pseudoscorpions associated with the Alston's Singing Mouse (*Scotinomys teguina*) in Western Panama

Jorge Luis Pino¹

<https://orcid.org/0000-0002-0967-5528>

¹Universidad Autónoma de Chiriquí. Instituto Interdisciplinario de Investigación e Innovación. Vicerrectoría de Investigación y Posgrado

Autor correspondiente: jorge.pino@unachi.ac.pa

Enviado 10 de enero de 2023. Aceptado 22 de marzo de 2023.

Abstract

Phoresy is a form of commensalism that has been widely studied, however, limited literature is found about this interaction in Mesoamerican rodents. Rodent trapping in highlands from Western Panama allowed the first report of phoretic pseudoscorpions (Chernetidae), associated with *Scotinomys teguina*; which also represents the first phoretic record in mammals from Panama.

Key words: ecology, mammals, Neotropics, Panama, phoresy, pseudoscorpions, rodents.

Resumen

Foresis es una forma de comensalismo que ha sido ampliamente estudiada, sin embargo, la literatura sobre esta interacción en roedores de Mesoamérica es limitada. Capturas de roedores en montañas del occidente de Panamá, permitieron el primer reporte de pseudoescorpiones (Chernetidae), foréticos asociados a *Scotinomys teguina*; el cual también representa el primer reporte de foresis en mamíferos de Panamá.

Palabras clave: ecología, foresis, mamíferos, Neotrópico, Panamá, pseudoescorpiones, roedores.

Introduction

Understanding how biodiversity is maintained continues as a central topic of research. From an ecological perspective, several species interactions that mediate diversity and species distributions have been thoroughly described, while interactions like phoresy, a form of commensalism, remain widely understudied (White et al. 2017).

Although phoresy is known to play a role in the dispersion of phoretic pseudoscorpions, the limited literature on this group prevents a clear understanding of several aspects of these organisms. For example, most of the literature on pseudoscorpions focuses on taxonomical descriptions, though

literature about their spatial distribution, or the benefits and level of dependence on this mutualistic condition, are scarce.

Pseudoscorpion phoresy has been reported in several organisms such as birds, insects, and mammals. The reported association of pseudoscorpions with rodents in North America, includes the genus *Heteromys*, *Liomys*, *Neotomodon*, *Onychomys*, *Peromyscus*, and *Spermophilus* (MacSwiney et al. 2012; Villegas Guzmán & Hernández Betancourt, 2006), and *Neotoma* (Francke & Villegas-Guzmán, 2006; Villegas-Guzmán & Pérez, 2005). However, in the Mesoamerican region, this rodent-pseudoscorpions interaction has been reported only in *Heteromys nubicolens* (Dao, 2017) and *Liomys salvini* (Durden & Campbell, 2016).

In Panama, 21 species of pseudoscorpions have been reported (Martínez et al. 2019, 2020, 2021), most of them in microhabitats such as tree barks, soils, and nests. Others have been caught in pitfall traps (Martínez et al. 2018; Subías et al. 2004). A very few records reflect association with other species, and none of these include mammals. This note aims to report the phoretic interaction involving the Neotropical Alston's Singing Mouse and pseudoscorpions.

Materials and Methods

As part of a behavioral project on rodents, a series of live trapping sessions were carried out in the highlands of Western Panama (Chiriquí Province). Rodents were captured in Sherman live traps and placed on the ground at Peterson's Nature Reserve (PNR) (8°46'50" N, 82°23'46" W). The captured rodents were measured, weighted, and taxonomically identified using a mammal field guide (F. A. Reid, 2009). The rodents were examined for the presence of parasites, resulting in the discovery of phoretic pseudoscorpions. Approximations to identifying the pseudoscorpions found were performed through image comparisons and literature analysis.

Results

Pseudoscorpions were documented in one of Alston's Singing Mice, *Scotinomys teguina*, at PNR. Several pseudoscorpions were found attached to its rump. Specimens were collected for further lab

identification, but samples were lost during an unexpected field flooding. The only evidence that remains from this event, are the photographs taken at the time of the sighting (figure 1).

Images comparisons from the literature, suggest that the observed specimens could belong to the Family Chernetidae; a widely distributed Family, with some genera reported in Panama.

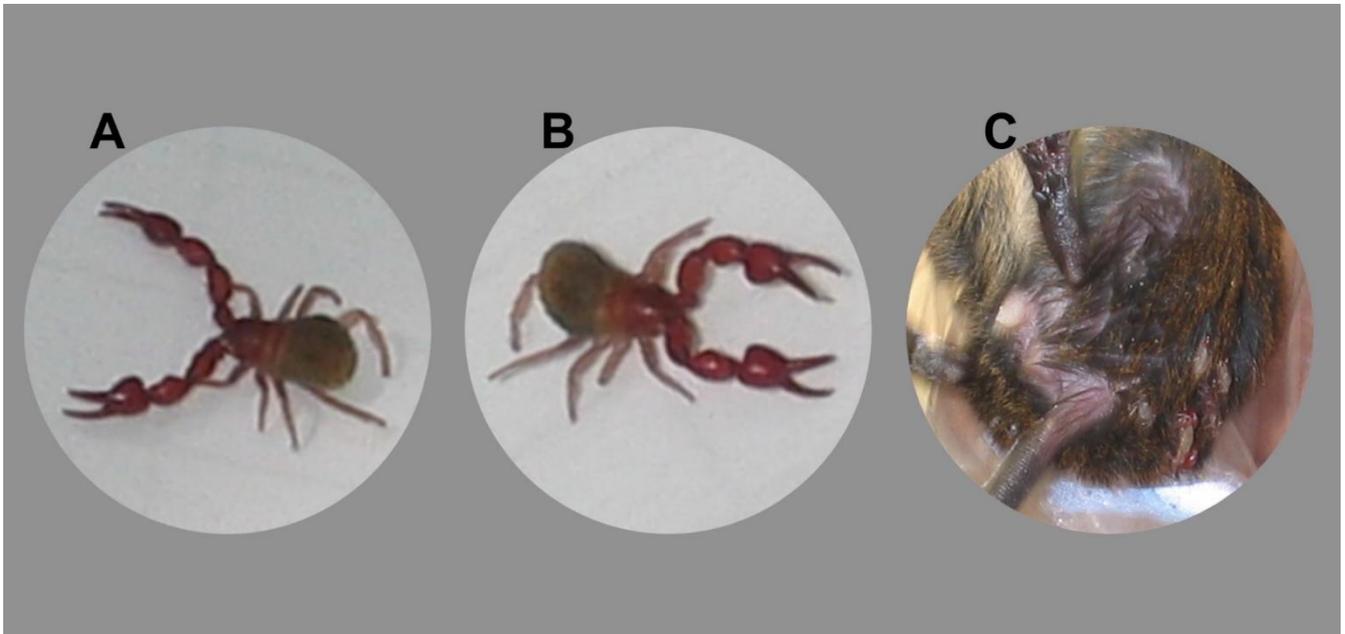


Figure 1. A and B= Dorsal view of pseudoscorpions collected at PNR in Boquete. C= rump of *S. teguina*, with pseudoscorpions attached.

Discussion

Although the absences of the collected specimens prevent a better taxonomical identification, this report still provides evidence of the phoretic interaction of pseudoscorpions and *S. teguina*, which has not been previously documented and represents the first phoretic record for mammals from Panama. To understand better the ecological phoretic assembly of pseudoscorpions with other species, it is required to increase and focus the field research efforts. As inferred from this report, some records of phoretic pseudoscorpions may have been gathered by chance, and not necessarily as the result of researches designed to document phoresy.

From a conservation perspective, the Alston Singing Mouse, *Scotinomys teguina*, is a widely distributed species in Mesoamerican highlands (Campbell et al. 2010), with relatively stable populations, considered as Least Concern for conservation (F. Reid et al. 2008, 2016); this may suggest that this species offers a stable source for the dispersal of the phoronts. Meanwhile, the fact that some species of pseudoscorpions in Spain are included as “vulnerable” in the IUCN Red List (Zaragoza, 2015); raises the question about the conservation status of pseudoscorpions in Panama.

This represents the second report of pseudoscorpions from the Boquete area in 79 years, when the species *Cordylochernes angustochelatus* was described (Hoff, 1944). Reflecting that much of the field-based, mammal-related research in Panama has occurred in Central Panama, and less in the eastern and western provinces. The time gap of information for this group could reflect this asymmetrical approach. However, the potential for describing new interactions or discovering new species must be equivalent in these less studied regions, especially when modern molecular approaches are used.

Conclusions

Phoresy is reported for the first-time involving Alston’s Singing Mouse, *S. teguina*, and pseudoscorpions; it represents the first report of phoresy in mammals from Panama. The documentation of this occasional event through images, was crucial for further analysis when specimens were lost.

Acknowledgments

Special thanks go to S. Phelps (Univ. of Texas at Austin), who supports the trapping field season; the Peterson family at Boquete, for the hospitality at the Tijeretas fancy field station, and for allowing the surveys of rodents in the Reserve; to M. Araúz and B. Moon for the constant discussions of this manuscript; and to the reviewers Dr. Caddis and Annette Herrera, whose comments and suggestions improved the final version of the document.

References

Campbell, P., Pasch, B., Pino, J. L., Crino, O. L., Phillips, M., & Phelps, S. M. (2010). Geographic variation in the songs of Neotropical singing mice: Testing the relative importance of drift and local adaptation. *Evolution*. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2010.00962.x>

- Dao, K. (2017). Species specificity between ectoparasites and rats in Monteverde, Costa Rica. *Tropical Biology and Conservation Course; Department of Ecology and Evolutionary Biology University of California, Los Angeles*, 12p.
- Durden, L. A., & Campbell, D. C. (2016). Fleas, Lice, and Epifaunistic Pseudoscorpions of Some Native Mammals in Northwestern Costa Rica. *Comparative Parasitology*, 83(2), 240–244. <https://doi.org/10.1654/4823s.1>
- Francke, O. F., & Villegas-Guzmán, G. A. (2006). Symbiotic relationships between pseudoscorpions (Arachnida) and packrats (Rodentia). *Journal of Arachnology*, 34(2), 289–298. <https://doi.org/10.1636/04-36.1>
- Hoff, C. (1944). New Pseudoscorpions of the Subfamily Lamprochernetinae. *American Museum Novitates*, 1271, 1–13.
- MacSwiney, M. C., Hernández Betancourt, S., Panti May, J. A., & Pech Canché, J. M. (2012). Ecología poblacional del ratón yucateco *Peromyscus yucatanicus* (Rodentia: Cricetidae) en las selvas de Quintana Roo, México. In F. A. Cervantes & C. Ballesteros (Eds.), *Estudios sobre la Biología de Roedores Silvestres Mexicanos* (pp. 237–246).
- Martínez, R. J., Quirós, D. I., Emmen, D., & Bedoya-Roqueme, E. (2018). Primer reporte de foresia de pseudoscorpiones (Arachnida: Pseudoscorpiones: Cheiridiidae) por *Panstrongylus geniculatus* (Latreille, 1811) (Insecta: Hemiptera: Reduviidae). *Revista Ibérica de Aracnología*, 32, 127–130.
- Martínez, R. J., Villegas-Guzmán, G. A., Quirós, D. I., & Emmen, D. (2020). Phoresy of *Americhernes oblongus* (Say) (Pseudoscorpiones: Chernetidae) in a species of the genus *Scipopus* Enderlein (Diptera: Micropezidae). *Revista Chilena de Entomología*, 46(2), 179–183. www.biotaxa.org/rce. ISSN 0718-8994
- Martínez, R. J., Villegas Guzmán, G. A., Quirós, D. I., & Emmen, D. (2021). Associated pseudoscorpions (Arachnida: Pseudoscorpiones) with waste heaps of *Atta colombica* (Guérin-Méneville, 1844) (Hymenoptera: Formicidae) in Panama. *Revista Chilena de Entomología*, 47(1), 67–74. <https://doi.org/10.35249/rche.47.1.21.06>
- Martínez, R. J., Villegas Guzmán, G. A., Quirós, D. I., Emmen, D., & Gaona, S. (2019). Nuevos datos de distribución geográfica de algunas especies de pseudoescorpiones (Arachnida: Pseudoscorpiones) del continente americano. *Revista Ibérica de Aracnología*, 35, 67–69.
- Reid, F. A. (2009). *A Field Guide to the Mammals of Central America and Southeast Mexico* (Second Edi). Oxford University Press.
- Reid, F., Pino, J., & Samudio, R. (2008). *Scotinomys teguina*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2008: E.T20052A9138680*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T20052A9138680.en>
- Reid, F., Pino, J., & Samudio, R. (2016). *Scotinomys teguina*. *The IUCN Red List of Threatened Species: E.T20052A22390040*. <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016>
- Subías, L., Zaballo, J. P., Banda, E., Fontal-Cazalla, F., & Nieves-Aldrey, J. L. (2004). Ácaros oribátidos (Acari: Oribatei) del Parque Nacional de la isla de Coiba, Panamá. *Revista de Biología Tropical*, 52(1), 85–95. <https://doi.org/10.15517/rbt.v52i1.14755>
- Villegas-Guzmán, G. A., & Pérez, T. M. (2005). Pseudoescorpiones (Arachnida: Pseudoscorpionida) asociados a nidos de ratas del género *Neotoma* (Mammalia: Rodentia) del Altiplano Mexicano. *Acta Zoológica Mexicana*, 21(2), 63–77. <https://doi.org/10.21829/azm.2005.2121985>
- Villegas Guzmán, G. A., & Hernández Betancourt, S. (2006). Pseudoescorpiones foréticos de roedores



en México. *Acta Zoológica Mexicana*, 22(1), 141–143.

White, P. S., Morran, L., & de Roode, J. (2017). Phoresy. *Current Biology*, 27(12), R578–R580.

<https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.03.073>

Zaragoza, J. A. (2015). Orden Pseudoscorpiones. *Ibero Diversidad Entomológica*, 20, 1–10.