

Año 7 Volumen 7 Número 2

Julio-Diciembre, 2021



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD



REVISTA DIGITAL DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA



CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.



RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD, es una publicación arbitrada de divulgación científica digital iniciativa del **CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE S.C. (CIBNOR-CONACYT)**, Centro Público de Investigación de **CONACYT**, Av. Instituto Politécnico Nacional 195, La Paz, Baja California Sur, C. P.23096, Tel (612) 12 38484, <http://www.cibnor.gob.mx/revista-rns/> aortega@cibnor.mx. Editor en Jefe responsable Dr. Alfredo Ortega-Rubio. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo: 04-2016-100710152500-20; ISSN: 2448-7406. Ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de esta publicación sin previa autorización de los autores de este número de **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD**.

Con deferente gratitud **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD** reconoce y agradece la colaboración de Lic. Gerardo R. Hernández García en la edición gráfica editorial para esta revista, de la Lic. Adriana Landa Blanco en la elaboración del Logotipo y del Lic. Oscar Fisher Dorantes en la elaboración y actualización de la página WEB.

Credito de Fotografías: IMG_8934.JPG; pexels-elle-hughes-2647939.jpg; pexels-rachel-claire-8112247.jpg; clinic-doctor-health-hospital.jpg

Dr. Alfredo Ortega Rubio
Director General

Dr. Bernardo Murillo Amador
Director de Gestión y Desarrollo Institucional

Dra. Gracia Gómez Anduro
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos

Coordinadores Programas Académicos

Dra. Aurora Breceda Solís
Planeación Ambiental y Conservación

Dr. Eduardo F. Balart Páez
Ecología Pesquera

Dr. Pedro Cruz Hernández
Acuicultura

Dra. Alejandra Nieto Garibay
Agricultura Zonas Áridas

Coordinaciones

Dr. Luis Felipe Beltrán Morales
Vinculación, Innovación y Transferencia de
Conocimiento a la Sociedad (COVISTECS)

Dra. Martha Candelaria Reyes Becerril
Programa de Acercamiento de la Ciencia a la
Educación (PACE)

M. en C. Baudilio Acosta Vargas
Coordinación de Atención Interna
Especializada (CATIE)

Ing. Edgar Yuen Sánchez
Unidad de Tecnología de la
Información y Comunicaciones

Unidades Foráneas

Dr. Raúl López Aguilar
Unidad Guerrero Negro

Dr. Alfonso Nivardo Maeda Martínez
Unidad Nayarit

Dr. Alfredo Arreola Lizárraga
Unidad Guaymas

Ing. Juan Bautista Vega Peralta
Unidad Hermosillo

Administración

CP. Martha Verónica González Velázquez
Unidad de Administración y Finanzas

CP. Roberto Picos García
Subdirector de Finanzas y Contabilidad

MC. Rafael Palomeque Morales
Subdirector de Recursos Materiales
y de Servicios

CP. Bernardo Careaga Espinoza
Subdirector de Recursos Humanos

CP. Liz Aleida Cota Almazán
Subdirectora de Contabilidad

MC. Luis Gómez Castro
Subdirector de Planeación

Lic. Carlos Félix
Subdirector Jurídico

Lic. Cinthya Castro Iglesias
Jefa del Departamento de Extensión y
Divulgación Científica

Lic. Silvia Yolanda Alzaga Mayagoitia
Jefa del Departamento Eventos

Lic. Ana María Talamantes Cota
Jefa del Centro de Información Biblioteca

Índice

Editorial VII

Artículos:

Cambio Climático y Covid-19: ¿cómo están relacionados y cómo podemos afrontarlos?. Salvador E. Lluch-Cota, Antonina Ivanova Boncheva y Rodrigo Andrés de los Ríos 1

Uso de inmunoestimulantes recombinantes (rToxA) producidos en plantas (*Nicotiana tabacum*) y su aplicación en la acuicultura de camarón: una propuesta de análisis bioeconómico. Héctor Rodrigo Nolasco Alzaga, Elizabeth Monreal-Escalante, Marcelo E. Araneda Padilla, Mariel Gullian-Klanian, Juan Antonio de Anda-Montañez, Antonio Luna-González y Carlos Angulo 17

Efecto de la pandemia COVID-19 en el quehacer científico: docencia e investigación. Crisalejandra Rivera-Pérez y María A. Mendoza-Becerril 35

Potencial del nematodo *Panagrolaimus* sp. para remplazar a la *Artemia*, el “polvo mágico”, usado como alimento en los cultivos de crustáceos y peces marinos. Mriya López, Laurent H. Seychelles, Luis Hernández, Julio A. Ayala-Aguilar y Laurence Mercier 47

Compuestos bioactivos derivados de moluscos marinos. Crisalejandra Rivera Pérez y Norma Y. Hernández Saavedra 61

**Mandalas naturales: Tricodínidos asociados a peces y su
diversidad en México.** *Alma Gabriela Islas-Ortega y Rogelio*

Aguilar-Aguilar 85

In Memoriam:

C. Aldo Vargas Mendieta.....103

Dr. Fernando Luis García Carreño107

Lic. Horacio Bernardo Goytortua Bores 111

MC. José Juan Pérez Navarro 115

MC. Mario Arce Montoya 119



Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur; La Paz,
B.C.S. México; C.P. 23096, Tel:(52) (612) 123-8484

Editorial

Recursos Naturales y Sociedad
2020. Vol. 7 (2): VII-IX
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2020.07.07.01.0000>

RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD arriba a su Decimotercer Número ininterrumpidamente publicado, ello a pesar de ser íntegramente elaborado en situación de, prácticamente dos años consecutivos, la Contingencia Sanitaria en la que ha estado inmerso nuestro país y el mundo. Es por ello que sean estas líneas Editoriales iniciales para expresarles nuestros más sinceros deseos de que, tanto quienes están leyendo este texto, así como sus Seres más Queridos, se encuentren, todas y todos, gozando bienestar y de cabal salud.

En el contexto de La Contingencia en este nuevo número se presentan dos contribuciones directamente relacionadas, con datos y reflexiones, sobre los efectos de la crisis sanitaria provocada por el coronavirus SARSCoV-2 causante de la enfermedad COVID-19. La primera de ellas analiza las similitudes, diferencias y relación existente entre dos eventos de impacto global y generalizado: el cambio climático y la pandemia por Covid-19, así como de las lecciones que podemos derivar del momento histórico que vivimos. El segundo de ellos versa sobre los efectos de la contingencia al sector de la investigación en México y por ende a los académicos que están a su cargo, y cuyos resultados indican que las y los investigadores científicos enfrentan grandes retos para poder desarrollar sus proyectos y para formar los recursos humanos asociados a los mismos.

Este Decimotercer número aborda en sus cuatro últimos manuscritos diversos enfoques sobre diferentes, y muy interesantes, aspectos de organismos marinos. Así, uno de ellos aborda los hallazgos que un grupo de investigación reporta sobre los protozoos ciliados de la familia Trichodinidae asociados a animales acuáticos, en los que pueden causar efectos negativos. Animales acuáticos que muchos de ellos son especies de cultivo. Otro de los artículos trata al respecto de compuestos bioactivos generados por organismos marinos. La revisión presentada aborda los compuestos bioactivos de moluscos, tanto de extractos crudos, como de compuestos que han sido aislados de los extractos, haciendo hincapié en



las áreas de conocimiento que se necesita reforzar para el mejor entendimiento de estos compuestos y su potencial aplicación en la industria.

Indudablemente la industria Acuícola, la cual se encarga de proveer alimentos de origen marino y continental (peces, moluscos, crustáceos, entre otros), tiene riesgos ambientales y sanitarios que pueden comprometer su producción. Es por ello que una de las contribuciones versa sobre la utilización de sustancias inmunoestimulantes, como alternativa para aumentar las defensas de los organismos de cultivo, en sustitución del uso de los agentes antimicrobianos (antibióticos). En este contexto otro de los manuscritos refiere sobre una promisorio alternativa reducir la dependencia del sector acuícola por la *Artemia*, usando alimento artificial basado en una especie de nematodo, que podrían convertirlo en el nuevo alimento vivo, de talla pequeña, libre de patógenos, sin límites de suministro y de fácil manejo para los acuicultores.

Es en este número que en **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD**, por primera vez en su historia de publicación continua, se inaugura la Sección de *In Memoriam*, en la cual se hace un muy merecido Homenaje impreso, en esta Revista Institucional, a aquellas y aquellos integrantes de nuestro Centro Público de Investigación quienes en fechas recientes se nos hayan adelantado en el camino.

Un número muy interesante este Decimotercero es este de **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD**, nuestro agradecimiento a quienes hacen posible la continuación de esta Revista, inclusive aún en plena contingencia sanitaria: Autoras y Autores, Revisores Anónimos e integrantes de los Comités y Cuerpos Editoriales: ¡Muchas Gracias a todas y a todos Ustedes!

Reiterando nuestros más sinceros deseos de bienestar y de salud y de que disfruten la lectura de este Decimotercer Número, reiteramos con esta entrega nuestra voluntad Institucional de contribuir a la Apropriación Social del Conocimiento. Es indispensable aprovechar que la sociedad está escuchando para comunicar la imperiosa necesidad planteada a las y los integrantes de la comunidad científica de México para actuar decididamente ante los retos nacionales y globales, tales como la Soberanía Alimentaria, el Cambio Climático y la prevención de los impactos de otras pandemias en el futuro.

Sinceramente,

Dr. Alfredo Ortega-Rubio

Editor en Jefe

Editorial

Recursos Naturales y Sociedad
2020, Vol. 7 (2): VII-IX
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2020.07.07.01.0000>

RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD reaches its Thirteenth Issue uninterrupted published, despite the fact that it was entirely prepared in a situation of, practically two consecutive years, of Health Contingency in which our country and the world have been immersed. That is why these initial Editorial lines are to express our sincere wishes that both those who are reading this text, as well as their Dearest Ones, are, each and every one, enjoying well-being and full health.

In the context of The Contingency, this new issue presents two directly related contributions, with data and reflections, on the effects of the health crisis caused by the SARSCoV-2 coronavirus that causes the COVID-19 disease. The first of them analyzes the similarities, differences and existing relationship between two events of global and generalized impact: climate change and the Covid-19 pandemic, as well as the lessons that we can derive from the historical moment in which we are living. The second of them deals with the effects of the contingency on the research sector in Mexico and therefore on the academics who are in their charge, and whose results indicate that scientific researchers face great challenges to be able to develop their projects and to train the human resources associated with them.

This Thirteenth issue addresses in its last four manuscripts various approaches to different, and very interesting, aspects of marine organisms. Thus, one of them addresses the findings that a research group reports on the ciliated protozoa of the Trichodinidae family associated with aquatic animals, in which they can cause negative effects. Aquatic animals many of them are farmed species. Another article deals with bioactive compounds generated by marine organisms. The review presented addresses the bioactive compounds of mollusks, both from crude extracts, and from compounds that have been isolated from the extracts, emphasizing the areas of knowledge that need to be strengthened for a better understanding of these compounds and their potential application in the industry.



Undoubtedly the Aquaculture industry, which is responsible for providing food of marine and continental origin (fish, mollusks, crustaceans, among others), there are environmental and health risks that can compromise its production. That is why one of the contributions concerns the use of immunostimulating substances, as an alternative to increase the defenses of culture organisms, replacing the use of antimicrobial agents (antibiotics). In this context, another of the manuscripts refers to a promising alternative to reduce the dependence of the aquaculture sector by Artemia, using artificial food based on a species of nematode, which could turn it into the new live food, of small size, free of pathogens, without supply limits and easy to manage for farmers.

It is in this issue that in **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD**, for the first time in its history of continuous publication, the *In Memoriam* Section is inaugurated, in which a well-deserved tribute is made, in this Institutional Journal, to those members from our Public Research Center who have recently passed away.

A very interesting number this Thirteenth is this of **RECURSOS NATURALES Y SOCIEDAD**, our gratitude to those who make possible the continuation of this Magazine, even in full health contingency: Authors, Anonymous Reviewers and members of the Editorial Committees: Many Thanks to all of you!

Reiterating our most sincere wishes for well-being and health and that you enjoy reading this Thirteenth Number, we reiterate with this delivery our Institutional commitment to the Social Appropriation of Knowledge. It is essential to take advantage of the fact that society is listening to communicate the urgent needs, posed to the members of the scientific community in Mexico, to act decisively in the face of national and global challenges, such as Food Sovereignty, Climate Change and the prevention of impacts of other pandemics in the future.

Yours Sincerely,

Dr. Alfredo Ortega-Rubio

Editor-in-Chief

Creditos de fotografias: eta-r0Q5UqWWKE-unsplash.jpg, nasa-vf5250AafAs-unsplash.jpg, martin-sanchez-7c7y223Mk-unsplash.jpg, fusion-medical-animation-rnr803FNUNY-unsplash.jpg, edwin-hooper-Q8m8cLkryeo-unsplash.jpg



Cambio Climático y Covid-19

¿cómo están relacionados y cómo podemos afrontarlos?

Climate Change and Covid-19: How are they related and how can we tackle them?

Resumen

En esta contribución presentamos algunos datos y reflexiones sobre las similitudes, diferencias y relación existente entre dos eventos de impacto global y generalizado: el cambio climático y la pandemia por Covid-19, así como de las lecciones que podemos derivar del momento histórico que vivimos. Las medidas de contingencia para enfrentar la crisis del COVID-19 han reconocido el carácter interconectado de la sociedad para diseñar respuestas efectivas y han sido una clara demostración de cómo las soluciones a las crisis globales deben entrelazar acciones a múltiples escalas. También ha quedado claro que no podemos seguir haciendo las cosas de la misma forma; desde la perspectiva de los autores, el mundo en la era pos-Covid-19 no es para recuperar la normalidad, sino para encontrar alternativas a los modelos de desarrollo que permitan reducir la degradación ambiental asociada a los actuales. Es indispensable aprovechar que la sociedad está escuchando para comunicar la imperiosa necesidad de actuar decididamente ante el Cambio Climático y prevenir los impactos de pandemias en el futuro.

Palabras clave: Cambio climático, Covid-19, modelos de desarrollo.

Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 01-16. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0001>

Salvador E. Lluch-Cota¹, Antonina Ivanova Boncheva², Rodrigo Andrés de los Ríos³

¹ Programa de Ecología Pesquera del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

² Departamento de Economía de la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

³ Subsecretaría de Sustentabilidad de la Secretaría de Turismo, Economía y Sustentabilidad del Estado de Baja California Sur.





Antecedentes

Para el lector podría parecer una simple moda el relacionar cualquier tema con el cambio climático o con el surgimiento del Covid-19. Sin embargo, la realidad es que en ambos casos se trata de problemáticas de escala global, que nos afectan profundamente a todos, que se relacionan con muchos aspectos de la vida de las sociedades y el funcionamiento de los sistemas naturales y, por tal motivo, forma parte protagónica de las agendas de investigación científica en todo el mundo.

La figura 1 muestra cómo el interés y esfuerzo de investigación en cambio climático, medido como el número de artículos científicos publicados por mes (<https://app.dimensions.ai/discover/publication>), se ha venido incrementando exponencialmente durante los últimos 50 años, a una tasa mucho mayor que otros temas científicos de importancia para la seguridad alimentaria del mundo (como las pesquerías), salud (Ébola) o de corte tecnológico disruptivo, como la inteligencia artificial. Por su parte, la publicación de trabajos sobre el tema del COVID-19 tiene únicamente dos años de crecimiento, pero ha alcanzado una tasa de publicación cercana a la que le tomó al tema de cambio climático medio siglo en alcanzar, reflejando posiblemente el tema con mayor crecimiento científico en la historia de la humanidad.

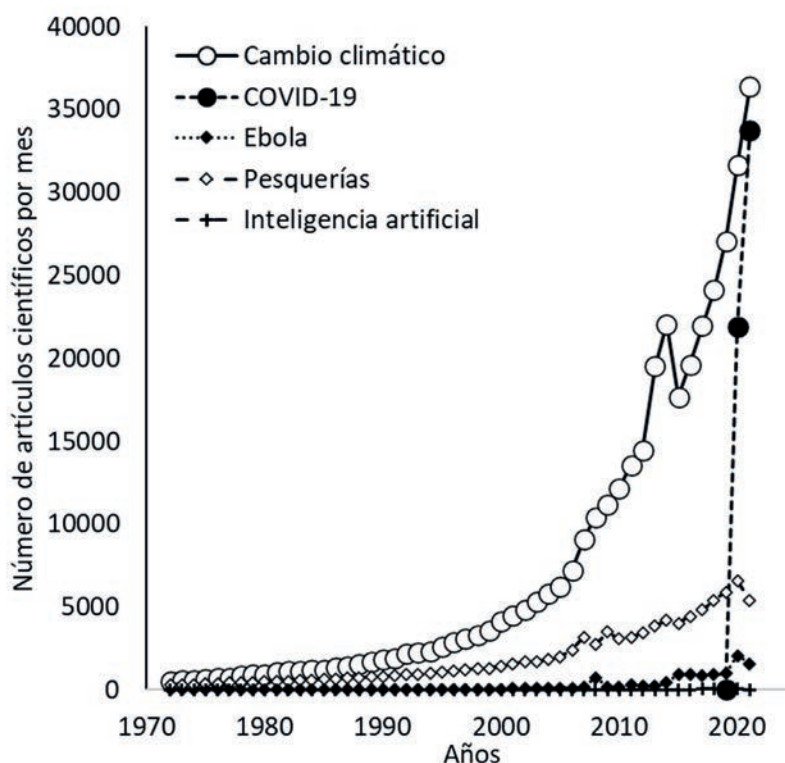


Figura 1. Número anual de citas promedio por mes durante los últimos 50 años. (datos hasta abril del 2021)

de corte tecnológico disruptivo, como la inteligencia artificial. Por su parte, la publicación de trabajos sobre el tema del COVID-19 tiene únicamente dos años de crecimiento, pero ha alcanzado una tasa de publicación cercana a la que le tomó al tema de cambio climático medio siglo en alcanzar, reflejando posiblemente el tema con mayor crecimiento científico en la historia de la humanidad.

Se trata de problemas a escalas temporales diferentes. Mientras que la aparición del COVID-19 tiene poco más de un año, la influencia antropogénica en el clima es una tendencia que se reconoce que viene desde lustros (para muchos especialistas desde la

revolución industrial, a mediados de los 1700s, cuando inició un incremento sostenido y acelerado de emisiones de gases de efecto invernadero por parte del humano). Sin embargo, ambos son de escala global y de la mayor importancia para el desarrollo de las sociedades humanas. Por si sólo el cambio climático ha generado ya impactos en fenómenos como la migración humana, la seguridad alimentaria, seguridad hídrica, pobreza, el desplazamiento latitudinal de recursos bióticos, cambios en la biodiversidad, entre muchos otros (IPCC, 2014), y los impactos futuros previsibles pueden ser mucho mayores, particularmente si la tendencia actual de emisiones de gases de efecto invernadero se mantiene (IPCC, 2018). Por su parte, la pandemia por COVID-19 ha dejado un saldo de 136 millones de personas enfermas y un acumulado de casi 3 millones de decesos a nivel mundial (cifras de la OMS hasta inicios de abril del 2021), además de fuertes impactos en las economías locales y se prevén efectos psicológicos y sociales importantes (Osofsky *et al.*, 2020).

¿Cómo se relacionan estos dos problemas? ¿En qué se parecen? ¿Qué podemos aprender de ellos? ¿Cómo los estamos abordando a nivel global y regional?

Presentamos a continuación algunos datos y reflexiones sobre estas preguntas, no como una revisión exhaustiva de la información existente, ni pretendiendo agotar el tema, sino como una declaratoria de la importancia y urgencia de seguir dedicando atención a estos temas de interés general.



Impactos del cambio climático como causa de la pandemia por COVID-19

La pandemia que vivimos por el SARS CoV-2 nos ha dejado un ejemplo muy claro de cómo los cambios ambientales,

incluidos los derivados del cambio climático, nos pueden afectar en muchas dimensiones, algunas indirectas y aparentemente impredecibles.

Se ha estimado que durante los últimos cien años se han transferido anualmente dos nuevos virus de sus hospederos naturales (fauna silvestre) al humano, lo que ha dado origen a enfermedades como MERS, SARS, influenza, SIDA y el SARS-Cov-2. La mayor parte de las veces, estas transmisiones se han dado de forma directa, cuando la gente manipula animales salvajes o su carne, o indirecta a través de animales de granja como pollos o puercos (Dobson *et al.*, 2020).

Por lo tanto, es lógico que a medida que aumente la interacción entre el humano y los sistemas silvestres se incrementará el número de casos de transmisión. Sin embargo, la realidad es aún más compleja y existen



factores indirectos que pueden también incrementar este riesgo.

Por ejemplo, investigación realizada durante los últimos años soporta la idea de que los cambios ambientales favorecen el aumento de enfermedades zoonóticas. En un estudio de 7,000 sistemas ecológicos y 376 especies hospedadoras alrededor del mundo, se demostró que el cambio de uso de suelo (por ejemplo, por deforestación para el uso agrícola o asentamientos humanos) tiene un impacto en la transmisión de enfermedades zoonóticas, y que la proporción de especies que comparten patógenos o parásitos con el humano es mucho mayor en regiones con alto impacto antropogénico respecto a sistemas prístinos, particularmente en los grupos de roedores, murciélagos y pájaros (Gibb *et al.*, 2020). Igualmente, se empieza a acumular evidencia de cómo los

cambios del clima tienen un efecto similar.

Según un trabajo reciente por Beyer *et al.* (2021), los murciélagos son portadores de varios coronavirus que pueden afectar al humano, incluidos SARS-CoV y el ya bien conocido SARS-CoV-2, y se ha detectado que existe una correlación estrecha entre el número de coronavirus en una región y el número de especies de murciélagos. También se ha demostrado que los cambios ambientales causan cambios en la distribución de murciélagos, lo que se traduce en que progresivamente algunas regiones se vean más expuestas a variedades diferentes de coronavirus y, en algunos casos, a mayor cantidad de ellas.

En el caso de la provincia de Yunnan, en el sur de China, por ejemplo, se ha formado un centro de alta diversidad de murciélagos derivado de cambios de distribución, que coincide con el surgimiento de casos de SARS-CoV y SARS-CoV-2 y un estimado de unas 100 variedades de coronavirus en la región.

Por supuesto la respuesta no es terminar con los murciélagos, que son indispensables para el funcionamiento del ecosistema al controlar insectos y plagas (que si no hubiera murciélagos quizá aumentara la presencia de otras enfermedades como dengue o Zika). La respuesta tiene que ser más amplia y consciente en reconocer que los murciélagos son sólo uno de los casos de vectores de virus y otros patógenos y que el cambio ambiental puede favorecer el surgimiento o ampliación del rango de muchas enfermedades, además del SARS por virus.

Impactos de la pandemia por COVID-19 en el cambio climático

El informe 2020 de la Agencia Internacional de Energía, una organización de 30 países incluido México (IEA, 2020), advierte que en 2020 se redujeron las emisiones globales de CO₂ globales en un 6%, la reducción más importante desde la segunda guerra mundial. Para ponerlo en contexto, equivale a que la Unión Europea no hubiera emitido nada durante ese periodo.

Las emisiones más bajas fueron de alrededor de 14% por debajo de las de 2019 alrededor de abril, durante el primer pico global de la pandemia. Un aspecto importante es que las reducciones fueron, por supuesto, más fuertes en unos sectores que en otros. Por ejemplo, en abril 2020 la aviación generó 70% menos emisiones que en abril 2019, y para el 2020 entero se redujeron un 45%, que equivale a sacar de circulación unos 100 millones de automóviles. La demanda de petróleo cayó en poco más de 8.5% y la de carbón en 4%.

Sin embargo, no hay que olvidar que, tras la crisis financiera mundial de 2008, las emisiones globales de CO₂ provenientes de la combustión de energéticos fósiles y de la producción de cemento se redujeron inicialmente en un 1.4%, para luego aumentar un 5.9% en 2010 (Ivanova, 2020b). De manera similar, actualmente se está detectando que a medida que las actividades se han reiniciado en diferentes regiones, las tasas de emisión han regresado a niveles altos. De hecho, en diciembre pasado no sólo habían aumentado respecto al valor mínimo de meses previos, sino que incluso fueron mayores que las de diciembre del 2019.

Las tendencias han sido diferentes entre regiones, aparentemente asociado al tipo de desarrollo y de la dinámica del manejo de la pandemia. Por ejemplo, en

China, donde entraron en contingencia (encierro de emergencia) en febrero, bajaron en un 12% las emisiones, pero para abril en que iniciaron apertura las emisiones fueron mayores a las de abril 2019 y terminaron el año con emisiones mayores que 2019 por 5%. Para otros grandes emisores como India, Brasil o EUA, las historias son similares, con reducciones significativas al inicio del encierro, pero regresando a niveles previos a la pandemia antes del fin de año.

En general, el mensaje es que no hay atajos, que el cambio de los modelos de desarrollo es imperante e inevitable.

Por supuesto la pandemia ha afectado las economías de los países del mundo y de su gente, y más gravemente a los grupos y sociedades menos favorecidos. En la economía, como en la ecología, es imposible incluir en los modelos y las



estimaciones a todos los componentes del sistema, pero hay un componente económico asociado al cambio climático que sería interesante meter a la balanza. De forma global, integrada para toda la sociedad, existe un costo social del carbono, que se relaciona con las pérdidas económicas asociadas a fenómenos derivados del cambio climático, como pérdidas de cosechas, inundaciones y sequías, etc., tenemos bastante incertidumbre en cuáles y hasta qué grado son consecuencia directa del cambio del clima, pero sabemos que están relacionados. Hay cálculos de que la reducción de las emisiones, especialmente durante el primer semestre del 2020, redujo el costo económico de pérdidas en más o menos 650 mil millones de dólares (considerando sólo a los principales emisores; Syed y Ullah, 2021).

Estrategias globales en materia de cambio climático

Mucho ha pasado en el mundo tras la adopción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, adoptados en el 2015 a través de la Agenda 2030 (<https://sdgs.un.org/es/goals>). Para los analistas, en el momento en que se firmaron estos acuerdos muchas naciones atravesaban tiempos de optimismo y de desarrollo económico acelerado, contrario a lo que enfrentan hoy día. Las dos condiciones base para alcanzar los ODS, la globalización y el desarrollo económico, han cambiado radicalmente; muchas economías enfrentan crisis y, por la urgencia de atender las necesidades locales, la cooperación internacional se ha retraído. Ante estas nuevas condiciones, Naidoo y Fisher (2020) reconocen que parece inevitable no sólo revisar y redimensionar las 169 metas de los 17 objetivos a 2030, sino incluso rediseñarlos de fondo. Más aún cuando la literatura más reciente está identificando

interacciones entre objetivos, que han emergido de la presente pandemia (Shulla *et al.*, 2021). Sin embargo, de entre el universo de temas que hay que repensar respecto de los ODS, las metas relacionadas con la acción climática (ODS13) se perciben no sólo como vigentes y urgentes, sino incluso como un elemento que permitiría disminuir nuestra sensibilidad a eventos catastróficos futuros, como el de la actual pandemia (Shulla *et al.*, 2021).

La agenda de los ODS proporciona tres "lógicas" que podrían ayudar a transformar hacia sociedades sostenibles: (1) una lógica de gobernanza que establece metas, adopta políticas y rastrea el progreso para dirigir los impactos; (2) una lógica de sistemas (nexos) que gestiona las interacciones de los ODS; y (3) una lógica estratégica que permite a las empresas (a nivel micro) desarrollar

estrategias que repercuten en las metas políticas (a nivel macro) (Van Zandten y Van Tulder, 2020). Siguiendo estas lógicas, para una relación eficiente entre la acción climática y desarrollo sustentable: (1) hay que incorporar las políticas y acciones climáticas en los planes y programas amplios de desarrollo sustentable; (2) hay que manejar las acciones relacionadas con el ODS13 de acción climática junto con otros ODS, destacando entre éstos ODS6 (agua limpia y saneamiento), ODS7 (energía accesible y no contaminante), ODS14 (vida submarina) y ODS15 (vida de ecosistemas terrestres); y (3) hay que fortalecer la colaboración entre sector gobierno, sector productivo y comunidades, así como las asociaciones y redes entre empresas a nivel sectorial, para garantizar una verdadera gobernanza que ayudaría a combatir el cambio climática y lograr un desarrollo post-COVID

más verde, incluyente y sostenible.

El Acuerdo de París es la culminación de un cuarto de siglo de diplomacia climática internacional iniciada con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), fundada en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro. La evolución del esfuerzo climático global puede resumirse en las siguientes etapas.

El Protocolo de Kioto se adoptó en la Convención de las Partes (COP) 3 en 1997 y entró en vigor en 2005. Sin embargo, sus objetivos iniciales de reducción de las emisiones se extendieron sólo hasta 2012, y cuando llegó el momento de negociar una segunda ronda hasta 2020, varios países desarrollados se negaron a participar. Por lo tanto, el Protocolo de Kioto estaba en riesgo y los miembros de la CMNUCC se esforzaron por desarrollar

un marco alternativo que facilitaría una acción más comprometida de todos los países, tanto desarrollados como en desarrollo (Shishlov *et al.*, 2016).

El Plan de Acción de Bali 2007 marcó el inicio de negociaciones enfocadas a llegar a un nuevo acuerdo que garantice la "implementación plena, efectiva y sostenida" de los artículos de la CMNUCC. El acuerdo debía adoptarse en la COP 15 en Copenhague en 2009. El Acuerdo de Copenhague, aunque sólo era un acuerdo político que operaba fuera de la CMNUCC, reflejaba un progreso significativo en varios frentes. Se fijó el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a 2°C; se solicitó a todos los países que presenten compromisos de mitigación; se establecieron términos generales para informar y verificar las acciones de los países; se fijó la meta de movilizar



USD 100 mil millones al año para el año 2020 en financiamiento público y privado para países en desarrollo y se decidió el establecimiento de un nuevo Fondo Verde Climático (Freestone, 2010). La Unión Europea (UE) se acercó a los países en desarrollo que compartían su deseo de un régimen legalmente vinculante que cubriera a todos los principales emisores y se establecieron compromisos con los miembros con derecho a veto, como China y los Estados Unidos. Esta estrategia de construcción de puentes se combinó con una promesa condicional de acordar una extensión del Protocolo de Kioto (Dagnet *et al.*, 2016).

En la COP 16 del año siguiente en Cancún, las partes adoptaron los Acuerdos de Cancún formalizando efectivamente los elementos esenciales del Acuerdo de Copenhague bajo la CMNUCC. Los Acuerdos de Cancún se componen de un conjunto de decisiones y acciones tanto por la vía del Protocolo de Kioto, cómo por la vía de la CMNUCC, este último conocido como el Grupo de Trabajo Especial sobre Cooperación a Largo Plazo (Morgan y Northrop, 2016). Los Acuerdos de Cancún fueron considerados como un acuerdo interino hasta 2020, y las partes dejaron la puerta abierta a nuevas negociaciones para establecer un sucesor legalmente vinculante del Protocolo de Kioto (Linn, 2016).

Las lecciones del Protocolo de Kioto para la estructuración del Acuerdo de París fueron las siguientes: ampliar la cobertura; eliminar los compromisos jurídicamente vinculantes a nivel internacional y limitar el enfoque en los métodos de cumplimiento; centrándose en los procesos de medir, reportar y verificar (MRV); así como proporcionar flexibilidad en el cumplimiento del acuerdo y el proceso de su adopción (Shishlov *et al.*, 2016).

La adopción del Acuerdo de París de 2015 es un hito en la política climática internacional y pone fin a años de negociaciones sin éxito. El Acuerdo crea un proceso global de compromiso, seguimiento, ejercicios regulares de inventario y acciones de cooperación. Ciento noventa y cinco países presentaron sus compromisos en forma de Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC).

El objetivo central del Acuerdo de París es fortalecer la respuesta global a la amenaza del cambio climático limitando al aumento de la temperatura global en este siglo muy por debajo de 2 ° C, sobre de los niveles preindustriales, y continuar los esfuerzos para no permitir el aumento de temperatura más de 1.5 ° C. Además, el acuerdo tiene como objetivo aumentar la capacidad de los países para hacer frente a los impactos

del cambio climático y hacer que los flujos financieros sean consistentes con una emisión baja de GEI y una vía de desarrollo sustentable. Las NDC de los países reflejan su capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que cada país establece sus propios objetivos y acciones (Mani *et al.*, 2018). Por lo tanto, las prioridades y necesidades divergentes fueron reflejadas mediante un proceso aceptable para todos los países, bajo la guía de los principios de la CMNUCC (Dagnet *et al.*, 2016).

El Acuerdo de París anuncia una nueva era de “multilateralismo híbrido” (Morgan y Northrop, 2016) con mayor flexibilidad para reconocer los beneficios de trabajar de diferente manera y en distintos grupos, y permitir formas de gobierno “policéntricas”, más descentralizadas, que involucren a diversos

actores a nivel regional, nacional y subnacional (Keohane y Victor, 2016; Ostrom 2010). En este contexto, las lecciones extraídas de los estudios de los regímenes de Acuerdos multilaterales sobre el Medio Ambiente (AMUMA) deben complementarse con evaluaciones de la efectividad de los esfuerzos de cooperación en otros niveles de gobernanza y en otros foros.



¿Qué estamos haciendo a nivel local en Baja California Sur en materia de cambio climático?

Más allá de la participación del estado en la Estrategia Subnacional, dentro de la Política Nacional de Cambio Climático (<https://www.gob.mx/inecc>), a nivel estatal se está trabajando en soluciones basadas en la naturaleza para atender uno de los aspectos más críticos de la vulnerabilidad regional ante el cambio climático, la disponibilidad de agua (<https://setuesbcs.gob.mx/pago-por-servicios-ambientales/>). Se ha implementado un programa de Pago por Servicios Ambientales específico para las condiciones de Baja California Sur, enfocado al servicio hidrológico. El ejercicio comenzó hace cuatro años con un ejido y abarcando 500 hectáreas. Hoy día, en 2021 se está trabajando con once ejidos y abarcando cerca de 8,800 hectáreas. El proceso implica iniciar con la elaboración de un programa de mejores prácticas diseñado a la medida de cada localidad, con una visión de al menos 5 años. En este programa se listan tanto mejores prácticas de manejo de la vegetación forestal, a las cuales se les debe dedicar como mínimo el 60% de los recursos asignados; así como acciones de beneficio social o productivo específicas por ejido, por el 40% del recurso asignado. De entre estas últimas los ejidos han aprobado, en sus respectivas asambleas, aspectos como



la contratación de consultorías jurídicas para proyectos de inversión, la construcción de infraestructura turística básica, la recuperación de potreros para ganado, hasta la investigación para determinar la línea base de captura de carbón azul de los bosques de manglar ejidales con miras a intercambiar bonos de carbono.

Paralelismos entre el cambio climático y la pandemia

Hay algunas publicaciones recientes que reconocen algunas similitudes entre en las causas y consecuencias de la pandemia por COVID-19 y el cambio climático. Por ejemplo, para Botzen *et al.* (2021) ambos tienen impactos más severos en los grupos más vulnerables y desprotegidos y por lo tanto las medidas de mitigación pertinentes se relacionan con reducir las brechas que causan dicha vulnerabilidad.

Un problema de las estrategias enfocadas al cambio climático es que las sociedades y los gobiernos lo perciben como un asunto de muy largo plazo y por lo tanto se tiende a dejar en manos de generaciones futuras, aun cuando se han reconocido claramente que los riesgos asociados son de consecuencias fuertes. En contraste, por la escala temporal a la que se dio la pandemia (meses-años), podemos ver a la contingencia sanitaria como un curso intensivo de riesgos de Baja-Probabilidad, pero Fuertes-Consecuencias. Año a año, la probabilidad de que ocurra una pandemia es muy baja, pero sus consecuencias son enormes, lo que nos debería dejar el aprendizaje de que sus causas deben ser prevenidas y debemos contar con medidas de mitigación efectivas, oportunas y globales. Hoy día lo tenemos muy claro, pero hace un par de años no figuraba en nuestra conciencia colectiva.

Lo que nos ha permitido esta emergencia sanitaria es percibir la hiper conectividad de nuestra sociedad moderna. Hemos sentido en carne propia que vivimos en un solo planeta y que este es más pequeño de lo que nuestras mentes conceptualizaban. Nadie se imaginaba que podrían suspenderse de un día para otro todas las actividades “no esenciales”, las razones económicas esgrimidas para no decidirse por la acción fueron derribadas en días.

Los medios de comunicación retomaron la potencia y penetración que habían perdido en los últimos años a merced de las redes sociales. Por otro lado, vimos que es posible cambiar el estilo de vida. Aunque en este caso lo vimos como medidas temporales y guardamos la esperanza de regresar a alguna forma de normalidad, hoy sabemos que muchas cosas se podrían hacer de forma diferente

(trámites en línea, eventos y reuniones, alternativas de esparcimiento, etc.), quizá si percibiéramos el impacto humano en el ambiente como una amenaza realmente grave estaríamos más dispuestos a implementar los cambios necesarios.

La ventana de oportunidad se cerrará muy pronto, ¿cuánto podemos aguantar como sociedad una emergencia, con todo lo que implica? Por ello es indispensable aprovechar que la sociedad está escuchando para comunicar la imperiosa necesidad de actuar decididamente ante el Cambio Climático.

Comunicar, comunicar, comunicar.

Vivimos la enorme oportunidad de recobrar un concepto fundamental. Somos naturaleza. No existe tal cosa como la relación hombre - naturaleza, como si fuéramos dos cosas separadas. Somos parte, estamos subordinados

al orden y estructura de la naturaleza, siempre lo hemos estado. Hoy es evidente para todos

Si de algo debemos estar convencidos es que no podemos seguir haciendo las cosas de la misma forma.

Vivimos en un punto de inflexión donde no se puede dejar pasar el impacto social y transformador que ha tenido y puede seguir teniendo la solidaridad y la cooperación colectiva demostrada por millones de ciudadanos en el mundo (Ivanova, 2020a). El mundo en la era pos-Covid-19 no es para recuperar la normalidad que nos hundió en esta crisis sanitaria y aceleró el cambio climático. Los políticos y los gobiernos debieran haber asimilado lo suficiente como para dar respuestas apropiadas a una población cuyo deseo de cambio se va a fortalecer cuando la pandemia haya terminado. El modelo económico debe cambiar. El modelo político debe cambiar. El modelo

energético debe cambiar.

La transición energética debe impulsarse con fuerza hacia una transformación energética global. Los paquetes de estímulo que los gobiernos anuncian en todo el mundo no deben beneficiar sólo a las grandes corporaciones, sino también a las grandes masas desfavorecidas que necesitan un sistema y un modo de vida diferente.

En todo caso, somos testigos de que algo bueno está sucediendo: estados y ciudades están declarando la emergencia climática; organizaciones de ciudadanos, jóvenes y estudiantes en todo el mundo se están movilizando contra el cambio climático; las demandas bajo el rótulo de litigio climático crecen cada día y jueces valientes están frenando políticas erradas.

Las soluciones deben considerar simultáneamente múltiples escalas: de lo local a lo global.



Nuestra sociedad está enlazada por las complejas redes que transportan personas, productos, información, etc. son sistemas que operan conectando procesos locales; desde acciones y decisiones individuales, hasta operaciones entre naciones, sectores y generaciones. La propagación del COVID-19 evidencia la capacidad de las redes de conectar lo local y lo global. Nuestras rutas de transporte y comunicación pueden rápidamente convertir eventos locales en procesos de escala global. Asimismo, procesos de escala planetaria afectan a comunidades y personas en su cotidianidad.

Abordar los problemas globales desde sus múltiples escalas, también nos permite revelar las disparidades de los efectos experimentados por diferentes grupos de población. La crisis del Covid-19 nuevamente nos revela como inequidades asociadas a pobreza o

género – entre otras, en términos de acceso a recursos, opciones y voz, conducen a una carga desproporcionada de las vulnerabilidades y de las consecuencias sobre grupos específicos de la sociedad.

Esta noción de una sociedad global interconectada es también evidente si consideramos la crisis climática (Ostrom, 2010). Evitar una transformación catastrófica del clima será el resultado acumulativo de procesos operando simultáneamente a múltiples escalas, desde las preferencias y elecciones de los individuos y comunidades, hasta los acuerdos políticos internacionales necesarios para migración global de las tecnologías de suministro, transporte y consumo de energía, biomasa y materiales (Ivanova, 2020b).

Consideraciones finales

Las medidas de contingencia para enfrentar la crisis del COVID-19 han reconocido el carácter interconectado de la sociedad para diseñar respuestas efectivas y han sido una clara demostración de cómo las soluciones a las crisis globales deben entrelazar acciones a múltiples escalas.

Para afrontar las crisis gemelas (COVID-19 y cambio climático) necesitamos acciones que van desde apelar al empoderamiento y a la responsabilidad de los individuos para adoptar nuevos hábitos y comportamientos, acciones regionales para adaptar medidas a las particularidades de las regiones y países, y la cooperación entre países, sectores y entidades multilaterales para diseñar e implementar políticas coordinadas, compartir información, tecnología y conocimientos, y desarrollar innovaciones conjuntas.

La atención al abrumador reto de enfrentar el Cambio Climático, como la de enfrentar la pandemia por COVID-19,

es tarea de todos. No habrá gobierno, organización, investigador, activista que pueda con todo. Todos somos parte del problema y también de la solución. No hay esfuerzos pequeños, la acción individual cuenta, por sí, y por su influencia en la acción colectiva. Aprovechemos que los oídos de las personas están escuchando, aprovechemos esta pequeña ventana de atención para comunicar los retos y también para comunicar las acciones que pueden y deben incrementarse. Que nos ayuden a recobrar nuestra identidad dentro de la naturaleza.

Agradecimientos

Los autores agradecemos al Consejo Sudcaliforniano de Ciencia y Tecnología (COSCYT) y al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) por la organización del conversatorio que dio origen a este documento y a la Lic. Cynthia Castro Iglesias por su conducción durante el mismo. al DG. Gerardo Hernández por su trabajo editorial

Literatura

- Beyer, R.M., Manica, A., y Mora, C. 2021. *Shifts in global bat diversity suggest a possible role of climate change in the emergence of SARS-CoV-1 and SARS-CoV-2*. *Science of the Total Environment* 767: 145413. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145413>.
- Botzen, W., Duijndam, S. y van Beurkering, P. 2021. *Lessons for climate policy from behavioral biases towards COVID-19 and climate change risks*. *World Development* 137: 105214. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105214>.
- Dagnet, Y., Waskow, D., Elliott, C., Northrop, E., Thwaites, J., Mogelgaard, K., Krnjaic, M., Levin, K. y Mcgray, H. 2016. *Staying on Track from Paris: Advancing the Key Issues of the Paris Agreement (Working Paper)*. Washington, DC: World Resources Institute. <http://www.wri.org/ontrackfromparis>.
- Dobson, A.P., Pimm, S.L., Hannah, L., Kaufman, L., Ahumada, J.A., Ando, A.W., Bernstein, A., Busch, J., Daszak, P., Engelmann, J., Kinnaird, M.F., Li, B.V., Loch-Temzelides, T., Lovejoy, T., Nowak, K., Roehrdanz, P.R. y Vale, M.M. 2020. Ecology and economics for pandemic prevention. *Science* 369(6502): 379-381. <http://doi.10.1126/science.abc3189>
- Freestone, D. 2010. *From Copenhagen to Cancun: Train Wreck or Paradigm Shift?*. *Environmental Law Review* 12: 87-93. <https://doi.org/10.1350/enlr.2010.12.2.081>.



- Gibb, R., Redding, D.W., Chin, K.Q., Donnelly, C.A., Blackburn, T.M., Newbold, T. y Jones, K.E. 2020. *Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems*. *Nature*, 584: 398–402.
- IEA. 2020. *Global Energy Review 2020*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC. 2018. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Ivanova Boncheva, A. 2020^a. *Las nuevas tendencias de la cooperación en acción climática: entre la desglobalización y la Belt and Road Initiative*, Cap. 3. 189-219. En: Lo Brutto, G. y Domínguez Martín, R., (Coord.) *Desglobalización y análisis del sistema de cooperación internacional desde una perspectiva crítica*, BUAP, Editorial Universidad de Cantabria, ISBN BUAP: 978-607-525-705-1, ISBN Editorial Universidad de Cantabria: 978-84-17888-11-4.
- Ivanova, A. 2020b. Cuando acabe la pandemia, el cambio climático seguirá aquí, en *Perspectivas de Transformación en Tiempos de Emergencia*, Cuadernos de Transformación, Friedrich Ebert Stiftung, pp. 91-95. <http://www.fes-transformacion>
- Keohane, R.O. and Victor, D.G. 2016. *Cooperation and Discord in Global Climate Policy*. *Nature Climate Change* 6: 570–575. <https://www.nature.com/articles/nclimate2937>.
- Linn, A. 2016. *Next Steps for the Paris Agreement: When and How will the Agreement Enter into Force?* Issue Brief. New York, NY: NYU School of Law, Guarini Center. <http://guarinicenter.org/wp-content/uploads/2016/03/Paris-Entry-into-Force-Final-30-Mar-16.pdf>.
- Mani, M., Hussein, Z., Gopalakrishnan, B. N. y Wadhwa, D. 2018. *Paris Climate Agreement and the Global Economy: Winners and Losers*. Policy Research Working Paper No. 8392. World Bank, Washington, DC. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/>

handle/10986/29604 License: CC BY 3.0 IGO.

- Morgan, J., y Northrop, E. 2017. *Will the Paris Agreement accelerate the pace of change?* Wiley Interdisciplinary Review of Climate Change 8: e471, <https://doi.org/10.1002/wcc.471>.
- Naidoo, R. y Fisher, B. 2020. *Reset Sustainable Development Goals for a pandemic world*. Nature 583, 198-201. <https://doi.org/10.1038/d41586-020-01999-x>.
- Osofsky, J. D., Osofsky, H. J., y Mamon, L. Y. 2020. *Psychological and social impact of COVID-19*. Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy 12(5): 468–469. <https://doi.org/10.1037/tra0000656>.
- Ostrom, E. 2010. *Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change*. Global Environmental Change 20: 550–557, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.07.004>.
- Shishlov, I., Morel, R. y Bellassen, V. 2016. *Compliance of the Parties to the Kyoto Protocol in the first commitment period*. Climate Policy 16: 768–782, <https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1164658>.
- Shulla, K., Voigt, B. F., Cibian, S., Scandone, G., Martinez, E., Nelkovski, F. y Salehi, P. 2021. *Effects of COVID-19 on the Sustainable Development Goals (SDGs)*. Discover Sustainability 2021:2-15. <https://doi.org/10.1007/s43621-021-00026-x>.
- Syed, F. y Ullah, A. 2021. *Estimation of economic benefits associated with the reduction in the CO 2 emission due to COVID-19*. Environmental Challenges, 3: 100069, <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100069>.
- Van Zanten, J. A. y Van Tulder, R. 2020. Beyond COVID-19: Applying “SDG logics” for resilient transformations. *Journal of International Business Policy* 3, 451–464. <https://doi.org/10.1057/s42214-020-00076-4>

 **CITA DE ARTÍCULO:**

Lluch-Cota S.E., A. Ivanova Boncheva y R. A. de los Ríos. 2021. Cambio Climático y Covid-19: ¿cómo están relacionados y cómo podemos afrontarlos? Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 01-16. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0001>

 *Sometido: 10 de marzo de 2021**Revisado: 12 de abril de 2021**Aceptado: 16 de mayo de 2021**Editor asociado: Dr. Raúl Martínez Rincón**Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández*



Uso de inmunoestimulantes recombinantes (rToxA) producidos en plantas (*Nicotiana tabacum*) y su aplicación en la acuicultura de camarón: una propuesta de análisis bioeconómico

Use of recombinant immunostimulants (rToxA) produced in plants (*Nicotiana tabacum*)
and their application in shrimp aquaculture: a proposal for bioeconomic analysis

Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 17-33. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.02.0002>

Héctor Rodrigo Nolasco Alzaga¹, Elizabeth Monreal-Escalante^{1,2}, Marcelo E. Araneda Padilla³, Mariel Gullian-Klanian⁴, Juan Antonio de Anda-Montañez¹, Antonio Luna-González⁵, Carlos Angulo¹

¹Immunology & Vaccinology Group. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz B.C.S. 23096, México

²CONACYT-Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), Instituto Politécnico Nacional 195, La Paz, México.

³Benchmark genetics Chile, área de gestión, control y Análisis Santa Rosa 560 oficina 25 B, Puerto Varas, Chile

⁴Unidad Experimental, Universidad Marista de Mérida, Periférico Nte. Tablaje Catastral 13941, CP 97300, Mérida, Yuc., México

⁵Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (Sinaloa). Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes #250, Guasave, Sinaloa. México.



Resumen

En la industria Acuícola, la cual se encarga de manera sustentable de proveer alimentos de origen marino y continental (peces, moluscos, crustáceos, entre otros), existen riesgos ambientales y sanitarios que comprometen la producción y en ocasiones ponen en circunstancias críticas a los productores. El riesgo sanitario, ocasionado por los sucesivos brotes de enfermedades que han afectado la industria del camarón en las últimas dos décadas, provocó el colapso de la actividad en varios países productores. La utilización de vacunas recombinantes, probióticos y sustancias inmunoestimulantes, se han propuesto como alternativas para aumentar las defensas de los organismos de cultivo, en sustitución del uso de los agentes antimicrobianos (antibióticos) cuya utilización implica efectos secundarios no deseados. Dado el volumen de producción, la implementación de una medida de prevención sanitaria, demanda un análisis costo-beneficio cuyo objetivo se debe centrar en la minimización de costos y la maximización de beneficios para expandir su uso a escala comercial.

En México, la implementación de inmunoestimulantes recombinantes en especies de interés comercial (como el camarón) es aún incipiente, lo que abre una ventana de oportunidad para su estudio y evaluación. El presente estudio tiene como finalidad dilucidar el potencial económico de la producción de un inmunoestimulante recombinante oral (rToxA) utilizando la planta *Nicotiana tabacum* para controlar la enfermedad aguda necrótica hepatopancreática (AHPND) del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*; así como evaluar el costo beneficio de la implementación de dicho inmunoestimulante en un sistema

de producción acuícola piloto. El estudio implica optimizar los parámetros de producción a pequeña escala, así como obtener el Valor Presente Neto (VPN) y el máximo rendimiento económico (MRE) dentro del sistema productivo, visualizando los resultados de manera gráfica.

Palabras clave:

Litopenaeus vannamei, inmunoestimulante recombinante oral, enfermedad aguda necrótica hepatopancreática, costo-beneficio.

Abstract

In the Aquaculture industry, which is in charge of sustainably supplying food of marine and freshwater origin (fish, mollusks, crustaceans, among others), there are risks that compromise production and sometimes put producers in very critical circumstances. Sanitary issues, caused by

accumulated outbreaks which affected the shrimp farming industry in the past two decades, provoked the collapse of this activity in several countries. Therefore, the implementation of recombinant vaccines, probiotics and immunostimulating substances, instead of antimicrobial agents (antibiotics), has been a proposal recommended by the scientific community for the aquaculture industry. Given the volume of production, the implementation of a health prevention measure demands a cost-benefit analysis whose objective should be focused on minimizing costs and maximizing benefits in order to expand its use on a commercial scale. In Mexico, the cost-benefit assessment of the implementation of recombinant immunostimulants, in species of great commercial

demand (such as shrimp), has not yet been finalized, which opens a window of opportunity for their attention. This study aims to elucidate the economic potential for the production of oral vaccines manufactured in plants in order to control the Acute Hepatopancreatic Necrotic Disease (AHPND) in the farmed whiteleg shrimp (*L. vannamei*); additionally, aims to evaluate the cost-benefit ratio obtained through the implementation of such vaccine in a Penaeid farming system, consequently after optimizing the production parameters at small scale, generating and visualizing graphically the biggest net present value and maximum economic yield within the system.

Key words: shrimp, necrotic hepatopancreatic disease, oral recombinant immunostimulant, cost-benefit.

Introducción

La acuicultura de camarón blanco es una industria en constante crecimiento y actualmente se encuentra en su punto histórico más alto de producción a escala global, teniendo como principales representantes a China, Indonesia, Vietnam, Tailandia e India, en Asia; y a Ecuador, México y Honduras, en América (Fernández de Alaiza et al., 2018). El registro de siembra más reciente de *Litopenaeus vannamei* a nivel nacional es de 4,719.2 millones de postlarvas anuales, procedentes de laboratorios de Sonora (61.5%), Sinaloa (35.1%) y Baja California Sur (3.4%), principalmente (Arana, 2019).

Varias enfermedades han impactado a la industria acuícola de camarón a nivel nacional, dentro de las cuales podemos citar la enfermedad de la mancha blanca (WVSS, por sus siglas en inglés) que ocasionó cuantiosas pérdidas



económicas del 2005 al 2011 en el estado de Sinaloa (Muniesa et al., 2016). En el 2013, se reportó una fuerte incidencia de una enfermedad conocida como necrosis hepatopancreática aguda (AHPND, por sus siglas en inglés) en la región noroeste del país, ocasionando pérdidas económicas sustanciales y reduciendo la producción nacional en un 60% (Aguilar y Soto-Rodríguez, 2018). Esta enfermedad continúa siendo un riesgo crítico global, con alta prevalencia en la región asiática (Devadas et al., 2019).

AHPND es ocasionada por bacterias que pertenecen a la familia Vibrionacea, especialmente *Vibrio parahaemolyticus*, las cuales contienen el plásmido extracromosomal pVPA3-1 o pVA1 de 70 kpb que codifica para una toxina tipo *Photobacterium insect related* (Pir): Pir^{vp}A y una Pir^{vp}B, que en su forma binaria (Pir^{vp}AB) induce la muerte celular. Dos puntos a destacar son que el nivel de transmisión entre bacterias pertenecientes a la misma familia es muy alto (Lee et al., 2015; Aranguren et al., 2017); y que el principal factor de virulencia en camarones se asocia a la expresión de las proteínas Pir^{vp}A y Pir^{vp}B (Tox A y Tox B) y no necesariamente al número de copias de los genes (Tinwongger et al., 2016).

Durante algunos años el uso de antibióticos fue una de las estrategias más comunes para el combate de patógenos bacterianos en el cultivo de camarón. El uso excesivo e inadecuado de antibióticos, particularmente asociado a la aparición de AHPND, fue un factor determinante en la aparición de resistencia bacteriana (Anaya-Rosas et al., 2018). Ese fenómeno llevó a investigar nuevas alternativas para la prevención y tratamiento de enfermedades bacterianas en la producción camaronícola. Es así que la inmunización, al igual que la inmunoestimulación, se han estado consolidando como alternativas económicas prometedoras para la prevención de enfermedades

ocasionadas por virus y bacterias (Dawood et al., 2018). En este contexto, Lee et al. (2015) demostraron que la administración oral de la Tox A en camarones no causaba mortalidad o signos patológicos de AHPND, lo que sugirió su potencial uso como inmunoestimulante. Recientemente, Campa-Córdova et al. (2017) encontraron que la administración de la Tox A recombinante en camarones, vía inmersión (una solución de concentración conocida de la Tox A), protegía a los animales del reto infeccioso contra *V. parahaemolyticus*-AHPND. Otros experimentos en peces utilizando la Tox A han demostrado resultados satisfactorios como es el caso de la dorada (*Sparus aurata*), estimulando la producción de anticuerpos y moléculas reguladoras del sistema inmune en estos organismos (Reyes-Becerril et al., 2017). También se ha evaluado a la Tox A en el huachinango (*Lutjanus peru*),

demostrando ser benéfica para el sistema inmune, induciendo la expresión de genes encargados del inicio y modulación de la respuesta humoral (Reyes-Becerril et al., 2016).

La Tox A utilizada en peces y camarones se ha producido de forma recombinante en la bacteria *Escherichia coli*.

Sin embargo, los procesos de purificación y aplicación resultan laboriosos.

Una alternativa son las plantas como sistemas de producción y entrega de proteínas recombinantes.

De hecho, la inmunización oral con vacunas producidas en células de plantas (CP) es una alternativa atractiva en términos de inmunogenicidad y protección, así como por su facilidad de aplicación comparada con la inmunización parenteral (Mutoloki et al., 2015).

Hasta el presente, no se han evaluado en camarones recombinantes

vía oral producidos en CP, lo cual brinda una oportunidad de originalidad y relevancia científica en el conocimiento y desarrollo de un inmunoestimulante recombinante oral para camarones. En este contexto, el Grupo de Inmunología y Vacunología (GIV) del CIBNOR ha generado plantas que producen la Tox A recombinante (rTox A) de *V. parahaemolyticus* en CP. Así mismo, ensayos preliminares en *Litopenaeus vannamei* han demostrado que la rTox A es funcionalmente inmunogénica (Monreal-Escalante et al., 2019). En términos económicos, ¿es realmente redituable invertir en inmunoestimulantes para organismos marinos? Aunque de manera experimental se ha demostrado una mejora al implementar vacunas/inmunoestimulantes en el rendimiento biológico en algunos sistemas de cultivo acuícolas; la evidencia sobre mejoras en el rendimiento financiero de un sistema de producción acuícola, tras el uso de inmunoestimulantes, es muy escasa.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el potencial de producción de un inmunoestimulante recombinante oral (rTox A) utilizando la planta *Nicotiana tabacum* para el control de la enfermedad aguda necrótica hepatopancreática (AHPND) en camarón (*L. vannamei*) de cultivo; así como también, proponer un análisis de costo-beneficio de la implementación de esta tecnología en un sistema acuícola de producción de Peneidos. Para lo último, se considera la optimización de parámetros de producción en pequeña escala de *L. vannamei*, para generar y visualizar gráficamente el mayor Valor Presente Neto (VPN) y el Máximo Rendimiento Económico (MRE) dentro del sistema productivo.

Antecedentes

La acuicultura es una industria en constante crecimiento debido a la demanda alimenticia global y al colapso parcial de las pesquerías. Hoy en día, la acuicultura es una alternativa a la sobrepesca y el uso inadecuado de los recursos marinos de nuestro planeta (Longo et al., 2019).

A pesar de lo atractivo y redituable que puede llegar a ser el negocio de la acuicultura, existen riesgos que pueden comprometer el negocio al trabajar con organismos vulnerables a infecciones.

Los brotes de enfermedades infecciosas son un problema en el negocio de la acuicultura de crustáceos (Ahmed y Thompson, 2019). Por consiguiente, es de fundamental importancia prevenir cualquier tipo de enfermedad en los sistemas de producción acuícola, y esto podría conseguirse

mediante la inmunización de los organismos a cualquier escala y bajo cualquier sistema de producción (semi-intensivo e intensivo). Hoy en día, la NOM-074-SAG/PESC establece los criterios de cuidado y buen manejo de los organismos y obliga a comercializar productos libres de patógenos que afecten al ser humano; lo cual se puede lograr mediante buenas prácticas de sanidad consistentes, y a través de tecnologías que fortalezcan la respuesta inmune y resistencia a enfermedades de los organismos cultivados (Embregts y Forlenza, 2016; Artículo 9.1.4 del Código Sanitario para los Animales Acuáticos, 2019).

Actualmente se han desarrollado enfoques para prevenir o reducir los impactos negativos de las enfermedades infecciosas en la acuicultura. Uno de ellos es la edición o corrección genética por medio de la herramienta molecular conocida como “Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas” o CRISP-CAS9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats)” (Figura 1; Elaswad y Dunham, 2018; Gratacap et al., 2019).

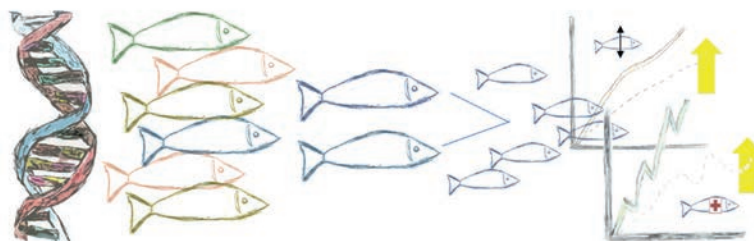


Figura 1. Mejoramiento genético de especies acuícolas: estado del arte. Hoy en día, una nueva y novedosa técnica perteneciente al área de biología molecular conocida como CRISP-CAS9 (**imagen superior**) ha hecho factible la edición génica por remoción e inserción de genes.

Esto hace posible elegir un gen candidato (que haya sido probado, ya sea en la misma o en otra especie con afinidad taxonómica) que bien pudiera ser un gen encargado del control del desarrollo muscular (por ejemplo: gen de la miostatina) e insertarlo o eliminarlo dentro del genoma de una especie de interés, para proveer al organismo de un fenotipo idóneo, para la estrategia de producción que un negocio acuícola desee implementar. Por su parte, el mejoramiento genético tradicional (imagen inferior), también denominado como “selective breeding” (cruzas selectivas) es un método que permite elegir de un pool genético (organismos que comparten cierta variedad genotípica) genotipos que sean de interés para ser conservados y expresados en generaciones futuras, mediante cruzamiento selectivo de familias (padre y madre) que poseen dichos

genotipos seleccionados (Gjedrem et al, 2012).

Casos específicos han sido la selección para talla y tasa de crecimiento (Argue et al., 2002); como también, resistencia a enfermedades (Cock et al., 2009), y de manera concreta, resistencia al virus de Taura (Argue et al., 2002) y resistencia a la enfermedad de la mancha blanca (Trinh et al., 2019).

En el caso del desarrollo de inmunoestimulantes para la prevención y control de enfermedades en camarones, se debe considerar el costo de la implementación. Los inmunoestimulantes recombinantes producidos en plantas pueden servir también como vehículo fácil de entrega oral (Mutoloki et al., 2015). Las células de las plantas producen el inmunoestimulante y lo encapsulan en su interior protegiéndolos de la degradación térmica o gástrica durante su tránsito por la hepatopáncreas del camarón. La tabla 1 muestra una lista de ventajas y desventajas respecto al uso de plataformas disponibles para la expresión de proteínas recombinantes y su posterior uso en la medicina (modificada de Shanmugaraj et al., 2020).

En la tabla los autores lograron agrupar las ventajas y desventajas de 5 prototipos utilizados en la generación de inmunoestimulantes recombinantes, dejando en claro a un posible inversor cual sería la mejor opción acorde a sus necesidades y expectativas. Actualmente en el CIBNOR se está desarrollando la producción de la rTox A de *V. parahaemolyticus* en plantas transgénicas (*Nicotiana tabacum*) que crecen bajo el cuidado de hidratación mínima y luz solar directa, en condiciones de invernadero (Fig. 2).

El siguiente paso es el procesamiento del material vegetal (hojas maduras recuperadas por poda de la planta y liofilizadas) y la evaluación inmunológica de la rTox A producida en las plantas de *Nicotiana tabacum*, mediante



la administración oral en camarones, a través de pellets de alimento formulados con la inclusión del citado material vegetal, así como la resistencia inducida frente a un reto experimental con *V. parahaemolyticus*.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de las distintas plataformas de producción de proteínas (vacunas) recombinantes. Tomado de Shanmugaraj et al. 2020.

Sistema de expresión	Ventajas	Desventajas
Bacteria	- Fácil manipulación. - Bajo costo de producción. - Niveles de expresión elevados. - Fácil escalamiento - Expresión rápida. - Procedimientos de regulación establecidos y aprobados.	- Plegamiento de proteínas inapropiado. - Carencia de modificaciones post-traduccionales lo cual puede afectar el funcionamiento de la proteína. - Acumulación de endotoxinas.
Células de mamífero	- Plegamiento de proteínas apropiado. - Modificaciones post-traduccionales apropiadas. - Regulaciones aprobadas.	- Costos de producción elevado - Mayor tiempo de producción. - Requerimientos de condición de medio muy sensibles.
Levadura	- Crecimiento rápido y escalable. - Fácil manipulación. - Requerimientos y condiciones de medio de cultivo simples y de costo accesible. - Modificaciones post-traduccionales de proteínas recombinantes.	- Dificultad en la disrupción celular debido a la dureza de la pared celular. - Hiperglicosilación de proteínas. - Glicosilación diferente a las células de mamífero.
Células de insecto	- Niveles de expresión elevados. - Habilidad para producir proteínas complejas incluyendo proteínas secretadas, de membrana e intracelulares. - Ensamblaje apropiado y modificaciones post-traduccionales apropiadas.	- Costo elevado y gran inversión de tiempo. - Costo elevado de medios de cultivo y de requerimientos condicionales. - Glicosilaciones diferentes a las células de mamífero.
Plantas	- Crecimiento rápido y accesible. - Condiciones de crecimiento optimizadas. - Libre de patógenos y contaminantes bacterianos. - Bajos costos de producción. - Modificaciones post-traduccionales similares al sistema en mamífero.	- Políticas de uso y regulación. - Capacidad de glicosilación limitadas.

Proceso de producción de una proteína recombinante en plantas

1. Un plásmido es generado mediante ingeniería genética, donde se inserta un segmento de ADN que codifica la proteína (inmunoestimulante) recombinante.
2. Se lleva a cabo un proceso denominado transformación que consiste en la inserción del plásmido en bacterias. Una vez que las bacterias han replicado el ADN utilizando su maquinaria celular en suficiente cantidad, el ADN clonado se introduce en el núcleo (Paso 3) de una célula vegetal que al reproducirse seguirá acarreando el ADN de la proteína recombinante en el resto de las **células, las cuales pueden ser cultivadas en medios nutritivos bajo condiciones de laboratorio**, hasta formar una plántula.

4. La planta desarrollada producirá el antígeno de interés en cierta concentración que puede ser determinada con técnicas inmunodetección. Así, la planta modificada se puede entonces cultivar a nivel de invernadero para producir la rToxA.

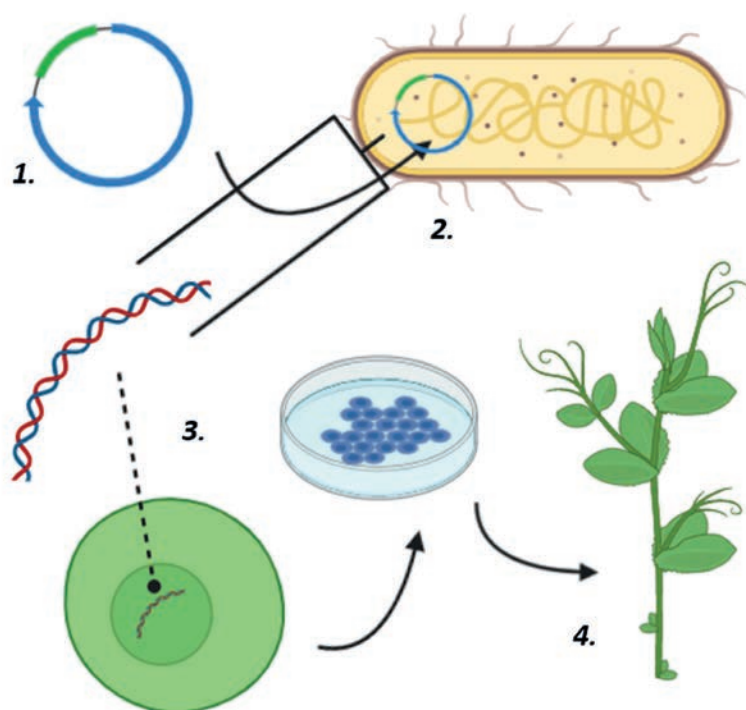


Figura 2. Esquema del proceso de producción de una proteína inmunoestimulante en plantas (*Nicotiana tabacum*).

Análisis costo-beneficio sobre algunas tecnologías implementadas en la producción acuícola

Desde el punto de vista empresarial, uno de los objetivos más importantes de concretar es la rentabilidad. Sin rentabilidad no es posible la permanencia de la empresa a mediano y largo plazo. Para que esta se mantenga funcionando, los ingresos tienen que ser mayores que los egresos, por consiguiente, es preciso que los ingresos por ventas sean superiores a los costos. Debido a la alta competitividad en nuestra sociedad actual, una empresa

debe constantemente buscar la innovación e implementación de nuevas tecnologías que pudieran ser útiles para mejorar la eficiencia del rendimiento empresarial. Una herramienta indispensable para el logro de este objetivo es el análisis costo-beneficio. El análisis costo-beneficio es un proceso que, de manera general, se refiere a la evaluación de un determinado proyecto, de un esquema para tomar decisiones que sean del interés de la empresa. Esto involucra determinar el total de costos y beneficios económicos, de todas las alternativas viables, para seleccionar la mejor o más rentable (Aguilera-Díaz, 2017).

Lo que mide principalmente el análisis costo-beneficio es precisamente la relación costo-beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, la cual es un cociente que



se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.

La fórmula de costo-beneficio se describe de la siguiente manera: $B/C = VAI/VAC$

Según el análisis costo-beneficio un proyecto de inversión será rentable cuando la relación costo-beneficio sea mayor que la unidad (ya que los beneficios serán mayores que los costos de inversión) y no será rentable cuando la relación costo-beneficio sea igual o menor que la unidad.

Dentro de la investigación y desarrollo tecnológico que se ha venido generando en la acuicultura existen técnicas con diversos usos que, en principio, pueden ser aplicadas para la mejora del rendimiento del cultivo; de igual forma, la investigación científica ha favorecido el desarrollo de insumos y alimentos que potencian el rendimiento biológico de algunas especies de cultivo.

Entre estas destacan: detección de patógenos por medio de análisis metagenómicos (biología molecular), acuaponía, chips adherentes para marcaje de sexos y familias, CRISPR/Cas9, pruebas inmunológicas, probióticos, suplementos alimenticios, entre otros. Sin embargo, a pesar de que la innovación científica provee de oportunidades en cuestión de transferencia tecnológica a la comunidad productora acuícola, los acuicultores siempre evalúan con escrutinio y escepticismo dicha innovación y por lo general optan por no alterar su sistema de producción (Engle et al., 2018).

En este sentido el análisis costo-beneficio juega un papel crucial para el convencimiento del empresario acuicultor en la decisión de incorporar o no una nueva tecnología que supone una ventaja en el rendimiento de su sistema productivo.

En el caso del camarón, como caso concreto reciente está la evaluación de un sistema de producción híbrido foto-heterotrófico con alta salinidad y reposición mínima de agua, diseñado por Moreno-Figueroa (2017). En este estudio se evaluó el uso de bioflocs (flóculos de bacterias heterótrofas) que permiten intensificar la producción y reducir los problemas relacionados con la sanidad del ambiente donde crecen los camarones, obteniendo una relación costo-beneficio promedio de 1.93 en el ciclo verano-otoño.

El presente trabajo incluye la evaluación costo-beneficio de la implementación de la inmunización oral de camarones con la toxina A recombinante (rToxA) producida en plantas, dentro de un sistema productivo de postlarvas de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*), examinando

en qué grado beneficia incorporar una nueva tecnología, considerando el tiempo a la cosecha, los costos de mantenimiento y las utilidades obtenidas hasta el final del ciclo productivo.

En economía existen indicadores analíticos que permiten evaluar el desempeño financiero de las empresas. Dependiendo de la naturaleza del estudio y el grado de profundidad con el que se pretende evaluar el rendimiento económico empresarial, existen determinados indicadores que identifican el estado financiero de la empresa. Algunos de estos indicadores son el índice de rentabilidad (IR, que es el beneficio o pérdida neta que tiene una inversión durante un ciclo de tiempo determinado, expresado como un porcentaje del costo inicial de la inversión), el valor presente neto de las utilidades (VPN), la tasa interna de retorno (TIR,

que es la tasa de descuento que iguala la suma del valor actual de los costos totales con la suma del valor actual de los ingresos previstos), y el periodo de recuperación de capital. En economía la tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de interés anual que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto, una variable que utilizan los empresarios para evaluar la evolución de un proyecto tras haber invertido en ciertos activos y personal, y es utilizada para analizar las estrategias de manejo empresarial a futuro. Por otro lado, también existe otro concepto conocido como índice de rentabilidad (IR), una variable que mide el valor actualizado de los cobros generados, por cada unidad monetaria invertida en el proyecto de inversión. Aun siendo de importancia las variables anteriormente mencionadas; en proyectos acuícolas de relativamente corto plazo, como lo es un ciclo productivo de camarón, uno de los indicadores comúnmente utilizado es el “Valor Presente Neto” (VPN) el cuál expresa el valor real que tiene el flujo neto del capital en el tiempo. Este indicador varía en función de las “Utilidades” o “Ingresos netos”. Los ingresos netos se calculan mediante la diferencia entre los ingresos totales (cantidad de producto comercializado) y egresos (costos totales). Para esto, hay que entender que el capital que la empresa posee o, en otras palabras, el dinero como lo percibimos no tiene un valor absoluto que permanezca estable durante el transcurso del tiempo. Por consiguiente, el uso de indicadores económicos como el VPN es necesario para estimar de manera realista el valor del capital que fluye de inicio a término del ciclo de producción. Para esto, convencionalmente, el VPN se calcula utilizando una tasa de descuento y su ecuación normalmente la encontramos en literatura como:



$$VPN = \sum \frac{BT(t) - CT(t)}{(1 + \delta)^t}$$

donde, $BT(t)$ y $CT(t)$ son los beneficios y costos totales en el tiempo t , δ es la tasa de descuento.

En acuicultura, además de la tasa de descuento, también se incluye un factor de riesgo (r) (Pindyck, 2018):

$$VPN = \sum \frac{BT(t) - CT(t)}{(1 + \delta + r)^t}$$

el cual penaliza aún más el valor del capital disponible a razón del tiempo que se transcurre en el periodo productivo.

Esto es debido a circunstancias que ocurren en tiempos de cosecha prolongados, donde los organismos pueden ser afectados por enfermedades y manifestar una reducción en la tasa de supervivencia. Algunas empresas utilizan el análisis costo-beneficio para evaluar que tan factible es llevar a cabo un proyecto que involucre una inversión.

Normalmente, se utilizan indicadores que calculan el flujo neto de capital como lo son: costos totales (suma de los costos fijos que no dependen de la producción como depreciación, intereses, gastos administrativos, etc.), costos variables (costos que están en función de la producción) y el VPN de la utilidad (beneficios netos). Independientemente de que alternativa se decida elegir, al realizar un análisis costo-beneficio, el gerente tiene que responder a dos preguntas claves para poder tomar una decisión: ¿Qué tanto aumentan los costos de producción al invertir en esta alternativa? y ¿Qué tanto se reduce el riesgo y aumentan las utilidades? En acuicultura un análisis de esta naturaleza involucra por lo general, una toma de decisiones que se relaciona a los costos de operación los cuales puede incluir o no una mejora tecnológica.

Algunos negocios acuícolas que quieren invertir en una mejora tecnológica están en etapas iniciales de desarrollo, y, por consiguiente, el presupuesto disponible puede ser limitativo para las demandas de inversión tecnológica. Aquí es donde la investigación bioeconómica acuícola puede ayudar a responder las dudas de inversión y expandir el panorama para la toma de decisiones sobre inversión, por ejemplo, la Inmunobiotecnología. La figura 3 muestra un caso hipotético simplificado sobre un análisis costo beneficio valorado en el rendimiento productivo en un ciclo de producción de camarón tras haber implementado un plan de inmunización oral, separando la cosecha en dos grupos: Grupo inmunizado vía oral y Grupo sin tratar (grupo control).

Algunas ventajas que conlleva el implementar la inmunización contra

una enfermedad recurrente plenamente identificada es la reducción del riesgo por pérdida del cultivo debido a la mortalidad parcial o total que puede provocar la infección. El análisis bioeconómico de la inmunización puede realizarse mediante dos técnicas: 1) incorporación del riesgo en el cálculo del valor presente neto de la utilidad y 2) análisis Montecarlo sobre la probabilidad de alcanzar el punto de referencia establecido, como una utilidad deseada en un periodo definido. Otro aspecto importante que resalta son las utilidades (π), las cuales son más rentables en los organismos inmunizados que en los no tratados.

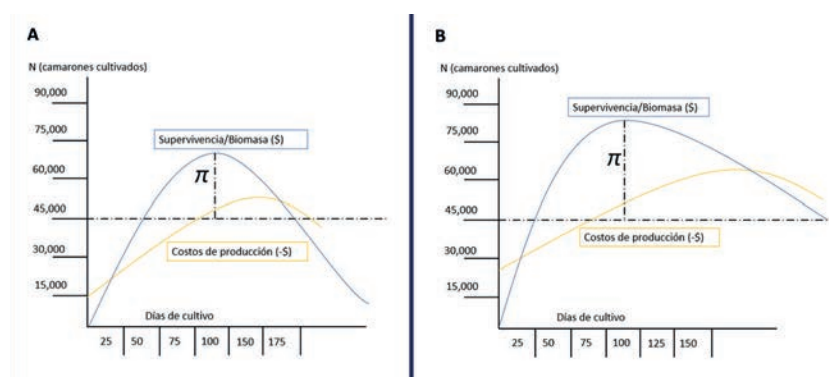


Figura 3. Representación hipotética de un análisis comparativo entre camarones inmunizados oralmente (Figura B) y camarones sin tratar (Figura A) en un ciclo de producción. En la figura A se puede apreciar la trayectoria del valor de la biomasa durante el periodo de cultivo llegando al valor máximo camarones cultivados a los 100 días de cultivo, contando con 72,000 camarones; mientras que en la figura B en el mismo periodo de tiempo se logra obtener una cantidad de 87,000 camarones.

Discusión

La inmunización en animales de producción comercial es algo que se ha practicado desde hace décadas, particularmente en animales terrestres como lo son los rumiantes. En este sentido, Coelho et al. (2011) demostraron que al vacunar a chivos y borregos para combatir la brucelosis se proyectaban mejores ingresos en las granjas en un periodo de 5 años. Por otro lado, Groenendaal et al. (2015) demostraron que para combatir la paratuberculosis

la vacunación contra *Mycobacterium avium* en bovinos era una opción viable cuya relación costo beneficio resulta positiva, proyectando mejores ingresos en un periodo de 5 a 7 años post vacunación. Sin embargo, cuando hablamos de cultivo de camarón, el tiempo de espera para observar el costo beneficio tras la inversión en inmunización es menor, ya que los ciclos de cosecha (engorda) por lo general duran de 3 a 5 meses y esto se traduce en un periodo de recuperación mas corto en comparación con animales terrestres cuando se trata de invertir en vacunas inmunoestimulantes. En acuicultura se presenta una compensación (“trade-off”) entre los costos adicionales que requiere la aplicación de la vacuna y la reducción del riesgo de pérdida de cultivo debido a la falta de inmunización de los organismos, de tal forma que el análisis bioeconómico nos



muestra que esta compensación puede ser mayor si se invierte en la biotecnología para la inmunización, toda vez que se haya probado la efectividad de la vacuna.

Consideraciones finales y perspectivas

En el tema de inmuoestimulantes suministrados a organismos de cultivo, en la actualidad, existe poco conocimiento sobre el costo-beneficio que estos otorgan al sistema productivo, más aún un caso tan particular como lo es la acuicultura de camarón. Este trabajo tiene la finalidad de proporcionar información novedosa sobre los efectos de inmunización que potencialmente repercuten en la sobrevivencia de estos organismos ante enfermedades letales que, en términos monetarios, beneficiarán los ingresos y por consiguiente las utilidades de la empresa que los cultiva. Así, dicho conocimiento propuesto podrá usarse a futuro como marco teórico en la decisión empresarial de un acuicultor con interés de fortalecer y asegurar la cosecha desde etapas iniciales hasta el final del ciclo para de esta manera, mejorar sus ingresos.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por apoyar la investigación otorgando fondos a Investigadores y estudiantes que se encargan no solo de llevar a cabo investigación científica sino también de difundir el conocimiento a la sociedad. Se agradece al CONACYT por el financiamiento del proyecto de ciencia básica A1-S-17585_5769. También se agradece al CIBNOR, CICIMAR y Universidad Marista por permitir la participación y la interacción interinstitucional de docente y estudiantes del programa de doctorado en Bioeconomía Pesquera y Acuícola. Agradecimiento especial, al comité tutorial y a los técnicos que proporcionaron fuentes de información para poder llevar a cabo la elaboración de este artículo. Al DG. Gerardo Hernández en la parte gráfica editorial.

Referencias

- Aguilera-Díaz, A. 2017. *El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas*. Cofin Habana. 12: 322-343.
- Anaya-Rosas, R. E., M. E. Rivas-Vega, A. Miranda-Baeza, P. Piña-Valdez, M. Nieves-Soto. 2018. *Effects of a co-culture of marine algae and shrimp (Litopenaeus vannamei) on the growth, survival and immune response of shrimp infected with Vibrio parahaemolyticus and White spot virus (WSSV)*. Fish and Shellfish immunology. 87: 136-147.

- Aranguren, L. F., J. E. Han, K. F. J. Tang. 2017. *Enterocytozoon hepatopenaei (EHP) is a risk factor for acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) and septic hepatopancreatic necrosis (SHPN) in the Pacific white shrimp Penaeus vannamei*. Aquaculture. 471:37-42.
- Argue, B. J., S. M. Arce, J. M. Lotz, S. M. Moss. 2002. *Selective breeding of pacific white shrimp Litopenaeus vannamei for growth and resistance to Taura syndrome virus*. Aquaculture. 204:447-460.
- Campa-Córdoba, A. I., A. F. León-Gallo, A. Romero-Maldonado, A. C. Ibarra-Serrano, S. Rosales-Mendoza, I. Hirono, C. Angulo. 2017. *Recombinant PirA-like toxin protects shrimp against challenge with Vibrio parahaemolyticus, the aetiological agent of acute hepatopancreatic necrosis disease*. Journal of fish diseases. 40(11): 1725-1729.
- Cock, J., T. Gitterle, M. Salazar, M. Rye. 2009. *Breeding for disease resistance of Penaeid shrimps*. Aquaculture. 286:1-11.
- Coelho, A.M., M.L. Pinto, A.C. Coelho. 2011. *Cost-benefit analysis of sheep and goat brucellosis vaccination with Rev.1 in the North of Portugal from 2001 to 2005*. Archivo Brasileño de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 63: 1-5.
- Embregts, C. W. E., M. Forlenza. 2016. *Oral vaccination of fish: Lessons from humans and veterinary species*. Developmental & comparative Immunology. 64: 118-119.
- Engle, C., G. Kumar, C. Tucker. 2018. *Factors driving aquaculture technology adoption*. Journal of the world aquaculture society. 49: 447-476.
- Dawood, M. A. O., S. Koshio, M. Ángeles Esteba. 2018. *Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review*. Reviews in Aquaculture. 10:950-974.
- Elaswad, A., R. Dunham. 2018. *Disease reduction in aquaculture with genetic and genomic technology: current and future approaches*. Reviews in Aquaculture. 10: 876-898.
- Gratacap, R. L., A. Wargelius, R. B. Edvardsen, R. D. Houston. 2019. *Potential of genome editing to improve aquaculture breeding and production*. Trends in genetics. 35 (9): 672-684.
- Gjedrem, T., N. Robinson, M. Rye. 2012. *The importance of selective breeding in aquaculture to meet future demands for animal protein: A review*. Aquaculture. 350-353: 117-119.
- Groenendaal, H. F. J. Zagmutt, E. A. Patton, S. J. Wells. 2015. *Cost-benefit analysis of vaccination against Mycobacterium avium ssp. Paratuberculosis in dairy cattle, given its cross-reactivity with tuberculosis tests*. Journal of Dairy Science. 98:1-15.
- Lee, C. T., I. T. Cheng, Y. T. Yang, T. P. Ko, Y. T. Huang, J. Y. Huang, H. M. F. Huang, S. J. Lin, C. Y. Chen, S. S. Lin, D. V. Lightner, H. C. Wang, A. H. J. Wang, H. C. Wang, L. I. Hor, C. F. Lo. 2015. *The opportunistic marine pathogen Vibrio parahaemolyticus becomes virulent by acquiring a*



plasmid that expresses a deadly toxin. PNAS. 112:7.

- Longo, S. B., B. Clark, R. York, A. K. Jorgenson. 2019. *Aquaculture and the displacement of fisheries captures*. *Society for conservation biology*. 33: 832-841.
- Monreal-Escalante, E., S. Rosales—Mendoza, D. O. Govea-Alonso, A. I. Campa-Córdova, C. Angulo. 2019. *Genetically-engineered plants an orally immunogenic PirA-Like toxin from Vibrio parahaemolyticus*. *International Journal of Biological Societies*. 137:126-131
- Muniesa, A., F. R. Mardones, M. C. Chávez, L. Montoya, J. A. Cabanillas, I. de Blas, B. Martínez-López. 2016. *Spatial Epidemiology and Risk Factor Analysis of White Spot Spot Disease in the Shrimp Farming Industry of Sinaloa, Mexico, from 2005 to 2011*. *Transboundary and Emerging Diseases*. 64:1510- 1518.7
- Moreno-Figueroa, L. D. 2017. *Cultivo intensivo foto-heterotrófico del camarón blanco Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) en alta salinidad con reposición mínima de agua (para obtener grado de Doctor en ciencias)*. La Paz, México. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. 88pp.
- Mutoloki, S., H.M. Munang, Ø. Evensen 2015. Oral vaccination of fish – antigen preparations, uptake, and immune induction. *Frontiers in Immunology*. 6:519. doi: 10.3389/fimmu.2015.00519
- Norma Oficial Mexicana NOM-074-SAG/PESC-2014. Diario Oficial de la Federación de los Estados Unidos Mexicanos, Ciudad de México, México, 28 de abril de 2014.
- Peñalosa-Martinell, D., M. Vela-Magaña, G. Ponce-Díaz, M. E. Arandeda Padilla. 2020. *Probiotics as environmental performance enhancers in the production of white shrimp (Penaeus vannamei) larvae*. *Aquaculture*. 514:734491.
- Pindyck, R. S. Pindyck y D. L. Rubinfeld. 2018. *Microeconomía*. Pearson Educación, 9ª edición, Madrid, España, 761 pp.
- Reyes-Becerril, M., M. Maldonado-García, C. Guluarte, A. León-Gallo, S. Rosales-Mendoza, F. Ascencio, I. Hirono, C. Angulo. 2016. *Evaluation of ToxA and Vibrio parahaemolyticus lysate on humoral immune response and immune-related genes in Pacific red snapper (FISH)*. *Fish and Shellfish immunology*. 56: 310-321.
- Reyes-Becerril, M., C., Guluarte, D. Ceballos-Francisco, C. Angulo, M. Ángeles-Esteban. 2017. *Enhancing gilthead seabream immune status and protection against bacterial challenge by mean of antigens derived from Vibrio parahaemolyticus*. *Fish and Shellfish immunology*. 60:205-218.
- Shanmugaraj, B., C. J. I Bulaon, W. Phoolcharoen. 2020. *Plant Molecular Farming: A Viable*

Platform for Recombinant Biopharmaceutical Production. Plants. 9:842

- Tinwongger, S., Y. Nochiri, J. Thawonsuwan, R. Nozaki, H. Kondo, S.P. Awasthi, A. Hinenoya, S. Yamasaki, I. Hirono. 2016. *Virulence of acute hepatopancreatic necrosis disease PirAB-like relies on secreted proteins not on gene copy number*. Journal of Applied Microbiology 121: 1755–1765.
- Trinh, T. T., H. H. Nguyen, H. N. Nguyen, K. Wayne, H. N. Nguyen. 2019. Genetic Variation in Disease Resistance Against White Spot Syndrome Virus (WSSV) in *Litopenaeus vannamei*. Frontiers in Genetics. 10: 1-10.
- URL: <https://www.elimparcial.com/sonora/ciudadobregon/Avanza-el-cultivo-de-camaron-2019-en-el-Estado-20190630-0033.html>. 17/10/2019. (Arana, S. 2019).
- URL: <https://www.elsoldesinaloa.com.mx/analisis/enfermedad-en-camarones-causante-de-perdidas-millonarias-en-mexico-mexico-es-ciencia-1782670.html>. 16/10/2019. (Aguilar, K. G., S. Soto-Rodríguez. 2018).

CITA DE ARTICULO:

Nolasco Alzaga H.R., E. Monreal-Escalante, M. E. Araneda Padilla, M. Gullian-Klanian, J.A. de Anda-Montañez, A. Luna-González y Carlos Angulo. 2021. Uso de inmunoestimulantes recombinantes (rToxA) producidos en plantas (*Nicotiana tabacum*) y su aplicación en la acuicultura de camarón: una propuesta de análisis bioeconómico. Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 17-33. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0002>

Sometido: 17 de abril de 2021

Revisado: 14 de mayo de 2021

Aceptado: 11 de junio de 2021

Editor asociado: Dr. Pedro Cruz Hernández

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

Efecto de la pandemia COVID-19 en el quehacer científico: docencia e investigación

Effect of the COVID-19 pandemic on scientific work: teaching and research

Resumen

La contingencia sanitaria provocada por el nuevo coronavirus SARSCoV-2 causante de la enfermedad COVID-19 ha afectado al sector de la investigación y por ende a los académicos que están a su cargo. Sin embargo, hasta ahora no existe evidencia que indique el tipo de problemática que enfrentan los investigadores ante la contingencia y las medidas implementadas para su mitigación. Por lo anterior, se realizó un estudio mediante una encuesta a nivel nacional a investigadores mexicanos para conocer las dificultades que enfrentan los investigadores en materia de docencia e investigación. Los resultados obtenidos indican que los investigadores enfrentan un gran reto para poder desarrollar sus proyectos y para formar los recursos humanos asociados a los mismos, además de que la masiva generación de información de COVID-19 está provocando retraso en el proceso de publicación de artículos y así mismo, existe una carencia de convocatorias, limitando el financiamiento de proyectos diferentes a los establecidos para COVID-19. Finalmente, el estado anímico y de salud de los investigadores se ha visto comprometido por la cuarentena, el exceso de trabajo y las vicisitudes antes mencionadas.

Palabras clave: investigación, coronavirus, educación

Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 35-45. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0003>

Crisalejandra Rivera-Pérez y María A. Mendoza-Becerril

¹Unidad de Educación a Distancia, CONACYT-Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, Baja California Sur, México

*Autor de correspondencia: crivera@cibnor.mx



Abstract

The health contingency caused by the new coronavirus SARSCoV-2 that causes the COVID-19 disease has affected the research sector and therefore the academics who are in their charge. However, so far there is no evidence that indicates the type of problem faced by researchers in the event of the contingency and the measures implemented to mitigate it. Therefore, a study was carried out through a nationwide survey of Mexican researchers to find out the difficulties faced by researchers in teaching and research. The results obtained show that researchers face a great challenge to be able to develop their projects and to train the human resources associated with them, in addition to that the massive generation of information about COVID-19 is causing a delay in the process of publishing articles and likewise, there is a lack of grants, limiting the financing of projects other than those established for COVID-19. Finally, the state of mind and health of the researchers has been compromised by the quarantine, overwork and the aforementioned vicissitudes.

Key words: research, coronavirus, education.

Introducción

En diciembre de 2019 en Wuhan, China, se detectó por primera vez un nuevo coronavirus SARSCoV-2 causante de la enfermedad COVID-19. Ha infectado a más de 103 millones de personas y generado más de 2.2 millones de muertes a nivel mundial. En México, ha infectado a 1.86 millones de personas y propiciado la muerte de más de 159,100 personas (datos al 1 de febrero de 2021). El gobierno mexicano implementó como estrategias de control del

COVID-19 la protección con cubrebocas, el lavado de manos frecuentes con jabón o geles a base de alcohol y el distanciamiento social. Así mismo, el gobierno mexicano desarrolló un semáforo epidemiológico (rojo, naranja, amarillo y verde) basado en el número de infectados por estado, para poder establecer las zonas de riesgo y estrategias de control para disminuir el aforo en los diferentes sectores productivos (Gobierno de México, 2021).

Las estrategias de control basadas en el semáforo epidemiológico ha propiciado el cierre de escuelas de nivel básico y superior, incluyendo posgrado e Instituciones de Educación Superior (IES), así como Centros Públicos de Investigación (CPIs), éstos últimos también responsables de la formación de recursos humanos especializados. A casi un año de la contingencia sanitaria,

las instituciones educativas y de investigación han permanecido cerradas y/o con aforo limitado, presionando a las instituciones a cambiar la estrategia educativa a una modalidad a distancia en línea, misma que en muchas instituciones aún no estaban preparadas (Rivera-Pérez y Mendoza-Becerril, 2020).

La educación de posgrado constituye un requerimiento fundamental para el fortalecimiento y mantenimiento de la competencia profesional y en última instancia para elevar la calidad de la actividad laboral (Manzo *et al.*, 2018). Las principales fuentes de estudiantes de posgrado derivan del sector privado (59%), seguido del sector público (41%) y de los CPIs (1%) (COMEPO, 2015). De acuerdo con los datos del Sistema Nacional de Información de Estadística Educativa de la Secretaría de Educación Pública (2015-2016), en México existen un total de 237 mil 617 estudiantes de posgrado.

Los estudios de posgrado de maestría y doctorado, en su mayoría tienen una duración de dos y cuatro años, respectivamente. Estos programas tienen actividades definidas, que en muchos casos requieren de un trabajo de tesis, mismo que se ha visto mermado por las medidas implementadas por la contingencia sanitaria, no sólo a nivel académico (e.g. tesis, clases, financiamiento, publicaciones, etc.) sino también a nivel personal (e.g. depresión, falta de concentración, etc.) (Rivera-Pérez, 2021).

Uno de los pilares en la formación de los recursos humanos de alto nivel como los posgrados, son los investigadores, que además de sus labores de investigación, en muchos casos fungen como docentes. En México existen 30,532 investigadores adscritos al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) (CONACyT, 2019), sin embargo, existe un alto porcentaje de investigadores que no pertenecen

al SNI y que es difícil contabilizar. Recientes estudios, en profesores universitarios, indican que han tenido múltiples dificultades logísticas, tecnológicas y materiales, que incrementan sus horas laborales y disminuyen la calidad de la interacción con sus alumnos (Silas y Vázquez, 2020), no obstante, no existe ningún estudio que vislumbre las vicisitudes que los profesores investigadores han sufrido a causa de la pandemia y las estrategias de mitigación implementadas en México en el último año. Por lo que, el presente estudio se enfocó a vislumbrar el efecto de la pandemia en los investigadores mexicanos involucrados en la formación de recursos humanos y el desarrollo de la ciencia en México, mediante una encuesta realizada a nivel nacional.



Material y métodos

Este fue un estudio no experimental y de carácter descriptivo, a través de un cuestionario en línea, empleando la herramienta Google Forms.

Muestra

El cuestionario fue proporcionado vía correo electrónico a los Centros Públicos de Investigación (CPIs), y a Universidades de los diferentes estados de la República. Así mismo, la encuesta estuvo disponible en redes sociales, en los grupos de Comunidad de Científicas Mexicanas, Comunidad de Científicos, Sistema Nacional de Investigadores, Área I, II, III, IV, V y VI respectivamente. El cuestionario se contestó de manera voluntaria y en línea.

Instrumento

Se creó un instrumento con el objetivo de identificar los retos a los que se enfrentan

los investigadores en materia de formación de recursos humanos, docencia, proyectos de investigación, estancias, congresos y sabáticos, productividad académica y finalmente a nivel personal. Para ello, se generó un cuestionario estructurado por 47 preguntas, 37 de opción múltiple y 9 de preguntas abiertas. El cuestionario estuvo abierto en la plataforma de Google Forms por un mes. El cuestionario se encuentra disponible en el Anexo 1.

Análisis cuantitativo y cualitativo

Para el análisis cuantitativo, los resultados de Google Forms se exportaron a Google Sheets, para realizar el análisis de los datos y generar las estadísticas descriptivas y las gráficas de los resultados. Posteriormente, se realizó un análisis cualitativo de las preguntas abiertas dentro del cuestionario, estas preguntas estuvieron diseñadas para complementar la información de las preguntas cerradas y permitir a los investigadores plasmar otras problemáticas que no estuvieran plasmadas dentro de las preguntas cerradas.

Resultados

Fueron obtenidas 1068 respuestas de investigadores de Universidades públicas (63%), Centros Públicos de Investigación (26%), Universidades privadas (7%) y otras instituciones (4%) (Fig. 1). De las cuales 57% correspondió a mujeres y 43% a hombres, teniendo la mayoría (78%) entre 31-50 años de edad. Un 62% de los investigadores tienen hijos que van de meses hasta 50 años de edad, predominando las edades mayores a 10 años (65%). Un 51.9% de los investigadores indican tener una posición en la institución de profesor-investigador, 17.9% de investigador, 16.5% como catedrático CONACyT y 13.8%

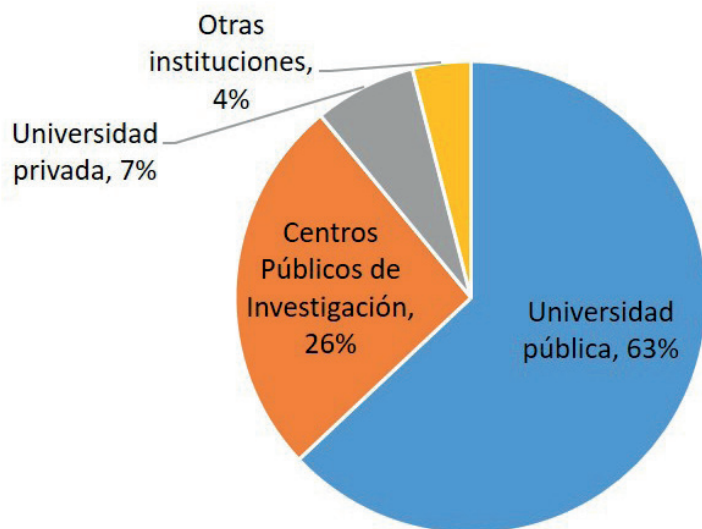


Figura 1. Encuestas obtenidas de los diferentes sectores educativos donde laboran los investigadores.

como docente y técnico. La mayoría (70%) de ellos no pertenecen al programa para el Desarrollo Profesional Docente (PROPEP), pero si al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) (90%), de los cuales el 60% pertenece al nivel I. Se tuvo una participación de las siete áreas temáticas que manejaba el SNI en los lineamientos del 2019 (Fig. 2), en su mayoría fueron del área de Biología y química (26%).

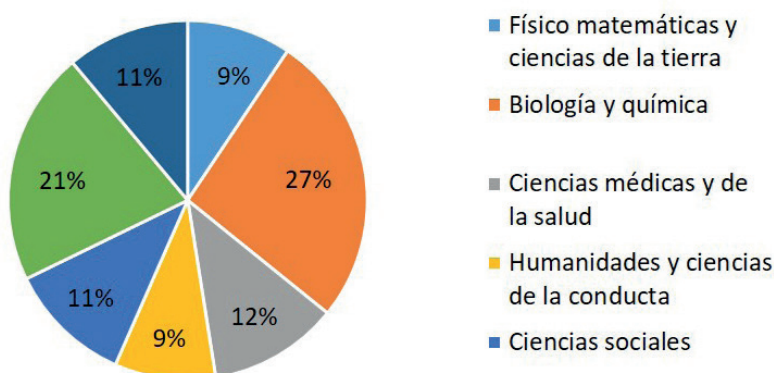


Figura 2. Participación de los investigadores en la encuesta de acuerdo a las áreas temáticas de los lineamientos del SNI 2019.

En términos de la pandemia, un 69% de los participantes indicaron que se han visto muy afectados por la pandemia, el 29% poco y tan sólo el 2% considera que no se han

visto afectados. En materia de formación de recursos humanos, el 87% de los investigadores dirige tesis de estudiantes, ya sea de posgrado (33%), licenciatura (19%) o ambos (36%).

Específicamente, dirigen de 1-2 estudiantes en posgrado y señalan que la pandemia ha afectado la comunicación con sus estudiantes, en la mayoría de los casos disminuyó (51%), afectando consecuentemente la graduación en tiempo de sus estudiantes (28%) o en su defecto no han podido ayudarlos a graduarse (31%), incluso el 3% ha necesitado solicitar la baja temporal en los programas de posgrado.

Sin embargo, un 66% de los investigadores ha logrado adaptar los proyectos asociados a sus estudiantes para titularlos en tiempo y forma.

Administrativamente, los investigadores exteriorizaron que los trámites administrativos para registro



y titulación de los estudiantes en su institución ha sido de regular (43%) a bueno (25%). Aunque, han experimentado problemas con sus estudiantes principalmente por las restricciones administrativas para el acceso a laboratorios (~21%), cancelación de salidas al campo y estancias de investigación (~8%) y falta de comunicación (~6%). Y en menor medida (<6%) por retraso en trámites, restricción de entrega de reactivos o falta de estos, obtención de datos en campo, retraso de experimentos y publicación de artículos científicos, falta de tecnología de internet, emocionales como estrés, depresión y falta de motivación (Fig. 3).



Figura 3. Efecto de la pandemia en la interacción de investigadores y estudiantes de posgrado.

En materia de docencia, el 90% requiere dar clases frente a grupo, generalmente de 4 -10 horas (40%). Por lo que, tuvieron que adaptar sus clases a vía remota (80%), dando más de dos clases 100% en línea (67%), a través de las plataformas con videos (e.g. Moodle, Google classroom) (33%) y Zoom (29%). Para lo cual han tenido que enfrentar problemas de conectividad, así como trabajar más e invertir

más tiempo. Además, han afrontado problemas al adaptar el material a un formato en línea, aunado que no pueden realizar sesiones prácticas en las materias que lo requieren (e.g. ingeniería genética, etc.), además presentan problemas de estrés, falta de capacitación, difícil captación de la atención de los estudiantes y por ende menos participación de los estudiantes. Esto ha propiciado una falta de control en el avance académico y/o evaluaciones, recorte de programas educativos, costos de plataformas (licencias), visuales.

En función al trabajo de investigación, el 57% cuenta con un proyecto financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y el 38% recibe apoyo para financiar su investigación de su institución de adscripción. El financiamiento no se ha visto afectado en un 42% de

ellos, no obstante, algunos señalan que la pandemia le ha afectado, porque no han sido abiertas convocatorias para sus líneas de investigación (20%) o porque no han podido ejercer el recurso adquirido para el proyecto aceptado (12%). Entre otros problemas asociados a la pandemia y que han generado conflicto para la obtención de financiamiento son: trámites administrativos, reducción de presupuestos y/o cancelación o falta de convocatorias, restricción al acceso a instituciones de adscripción, internet limitado, problemas emocionales.

Por otra parte, la pandemia ha afectado la ejecución técnica de los proyectos en un 78%, asociado principalmente al cierre institucional y por ende a la cancelación de análisis de laboratorio (35%) y trabajo de campo (31%). Otros problemas asociados han sido: retraso en insumos,

restricción al acceso a instituciones de adscripción, falta de espacio físico adecuado para desarrollar actividades, escuela en línea de los hijos, labores domésticas, familiares cercanos enfermos de COVID-19, horarios de trabajo de familiares.

En actividades relacionadas a productividad y colaboración, la pandemia ha afectado estancias nacionales y/o internacionales (50%), participación en congresos (60%), colaboraciones con otros investigadores (51%), estancias sabáticas (5%), reducción de datos para redacción de artículos (35%), escritura de tesis (35%), escritura de artículos científicos (37%) y proceso de publicación por aumento de tiempo de revisión más extenso que el estipulado por las revistas (44%) (Fig. 4). Entre otros factores se mencionan: restricción al acceso a instituciones de adscripción, fallas en internet y energía eléctrica, problemas emocionales, falta de recursos, fallecimientos de familiares cercanos, exceso de reuniones virtuales, confinamiento, inseguridad de contagio, labores domésticas y educación en línea de los hijos.

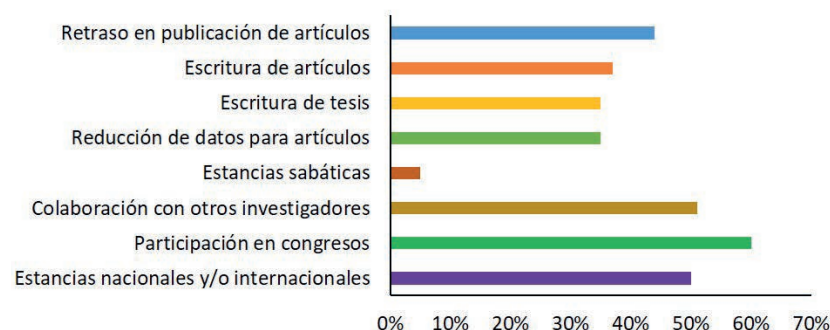


Figura 4. Efecto de la pandemia en la productividad de los investigadores de México.

A nivel personal, los investigadores se han visto afectados emocionalmente 72%, por la generación de estrés y ansiedad. Además de: cansancio mental, trastornos del sueño y alimenticios, depresión, alopecia, irritabilidad,



gástricos, paranoia, síndrome del impostor, bipolaridad, agorafobia, frustración, cardíacos y neurodegenerativos (Fig. 5).

En términos generales, el 67% de los investigadores indica que la pandemia no ha tenido un efecto positivo en su investigación, sin embargo, el 33% señaló un efecto positivo en sus investigaciones, como: mayor tiempo para escribir artículos o capítulos de libros, uso de TICs, mayor contacto con estudiantes, flexibilidad de horarios, generación de propuestas de investigación, mayor concentración, e incluso mayor convivencia con la familia.



Figura 5. Principales afectaciones personales de los investigadores por la pandemia COVID-19.

Discusión

Antes de la pandemia por COVID-19, México ya enfrentaba una crisis de aprendizaje a nivel superior, de posgrado y de investigación. De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en México solo egresa el 4% de maestría, mientras que en los países

de la OCDE es de 22%, y uno de cada 100 jóvenes completa un programa de doctorado comparado con el promedio en los países de la OCDE, que es de 2% (OCDE, 2017). Estos profesionales son formados por profesores investigadores de IES y CPIs, los cuales son alrededor de 30,548 investigadores adscritos al SNI (CONACyT, 2019), sin embargo, no existe un dato duro del número de investigadores totales, ya que no todos pertenece al SNI.

En México, el presupuesto dedicado a ciencia es del 0.3% del producto interno bruto (PIB), mientras que otros países desarrollados dedican del 2-3% del PIB a la ciencia (López y Sandoval, 2007). La investigación en México depende del financiamiento público y privado, siendo el público la principal fuente con fondos sectoriales y fondos mixtos. Estos apoyos promueven la solución de problemas prácticos

de las dependencias o los estados y permiten a los investigadores el apoyo derivado de estos fondos para conseguir infraestructura y materiales que le permitan al mismo tiempo cumplir con el proyecto aplicado (Valdez, 2009), en el cual se comprometen a la formación de recursos humanos, publicación de artículos, difusión y divulgación de la información que generan.

Esta pandemia por COVID-19 demostró el valor del conocimiento científico y su importancia en el bienestar de la población, no solo en México sino en el mundo. Es claro que la pandemia ha afectado de manera considerable el quehacer científico de los investigadores mexicanos y se ve reflejado en los resultados de la encuesta, dejando claro que la pandemia trajo consigo una serie de retos en materia de docencia, formación de estudiantes de posgrado como director o tutor, colaboraciones entre pares, ejecución de proyectos, publicaciones e incluso a afectado su estado anímico y de salud. Por lo que se necesita un plan estratégico inmediato que permita solventar estos problemas y que permita el desarrollo de la ciencia y la tecnología en situaciones como la actual pandemia.

Consideraciones finales y perspectivas

Tanto los investigadores como las instituciones educativas están ante un reto monumental para el desarrollo del quehacer científico. Además, la extensión de tiempo en el manejo de la pandemia por COVID-19 amenaza con deteriorar aún más al sector de investigación y educación. Sin embargo, es posible contrarrestar estos impactos y convertir la crisis en oportunidad mediante la planeación de estrategias que permitan a los investigadores formar sus estudiantes con educación de calidad y evitar la deserción escolar, así como establecer lazos de colaboración con investigadores de otros países y crear proyectos conjuntos, tomando ventaja de que no existen barreras geográficas con el uso de internet.

Así mismo se necesita proveer apoyo psicológico a los investigadores para el manejo de estrés y/o depresión, ya que si los investigadores están en esta situación, difícilmente podrán desarrollar investigación y cubrir las tutorías que les otorgan a sus estudiantes. Por otra parte, resalta la necesidad de facilitar la realización de trámites administrativos a distancia o en línea, por parte de las instituciones donde laboran los investigadores.



Agradecimientos

A todos los participantes de la encuesta, quienes hicieron posible este estudio. Al DG. Gerardo Hernández por el concepto gráfico editorial.

Literatura citada

- COMEPO (Consejo Mexicano de Estudios de Posgrado, A.C.). 2015. *Diagnóstico del Posgrado en México*: Nacional, 1ra. Edición. 172 pp.
- CONACyT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). 2019. *Sistema Nacional de Investigadores*. En: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/sistema-nacional-de-investigadores> (consultado el 05/02/2021).
- Gobierno de México. 2021. *Todo sobre el COVID-19*. En: <https://coronavirus.gob.mx> (consultado el 01/02/2021).
- López, L.S. y B.L.A. Sandoval. 2007. *Un análisis de la política de ciencia y tecnología en México (2001-2006)*. Revista de Investigación Científica, 16(30): 137-165.
- Manzo Rodríguez, L., C. N. Rivera Michelena y A.R. Rodríguez Orozco. 2006. *La educación de posgrado y su repercusión en la formación del profesional iberoamericano*. Educación Médica Superior, 20(3). En: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412006000300009&lng=es&tlng=es. (consultado el 02/02/2021).
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). 2017. *México, último en acceso a universidad*. En: <http://www.eluniversal.com.mx/nacion/sociedad/educacion-superior-mexico-ultimo-lugar-en-dar-acceso-ocde> (consultado el 02/02/2021).
- Rivera-Pérez, C. y M.A. Mendoza-Becerril. 2020. Educación a Distancia en Tiempos de Contingencia Sanitaria. Agencia Investigación y Desarrollo Noticyt. <https://invdes.com.mx/los-investigadores/educacion-a-distancia-en-tiempos-de-contingencia-sanitaria/>
- Rivera-Pérez, C. 2021. Efecto de la pandemia en los estudiantes de posgrado de México. Noticyti (Noticias de Ciencia, Tecnología e Innovación). En: <https://noticyti.com/opinion/1747-efecto-de-la-pandemia-en-los-estudiantes-de-posgrado-de-m%C3%A9xico.html> (consultado el 10/01/2021).
- Silas Casillas, J.C. y S. Vázquez Rodríguez. 2020. *El docente universitario frente a las tensiones que le plantea la pandemia*. Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México), vol. L. En: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/270/27063237022/html/index.html> (consultado el 02/02/2021)

Valdez Ramírez, P. 2009. *Problemas en la formación de científicos en México*. Ingenierías. 12(43): 12-18.

CITA DE ARTÍCULO:

Rivera-Pérez C., y M. A. Mendoza-Becerril. 2021. Efecto de la pandemia COVID-19 en el quehacer científico: docencia e investigación. Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 35-45. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0003>

Sometido: 16 de abril de 2021

Revisado: 17 de junio de 2021

Aceptado: 03 de septiembre de 2021

Editores asociados: Dra. Irma Cristina Espitia Moreno

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

Potencial del nematodo *Panagrolaimus* sp. para remplazar a la *Artemia*

El “polvo mágico”, usado
como alimento en los cultivos
larvarios de crustáceos y
peces marinos

Potential of the nematode *Panagrolaimus* sp. to replace
Artemia, the “magic powder”, used as food in the cultivation of
crustaceans and marine fish

Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 47-60. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0004>

Mriya López¹, Laurent H. Seychelles², Luis Hernández³,
Julio A. Ayala-Aguilar³, Laurence Mercier^{4*}

¹Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad de México, México.

²e-nema, Gesellschaft für Biotechnologie und biologischen Pflanzenschutz, Schwentinental, Alemania.

³CIMACO, Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), La Paz, México.

⁴Programa de Acuicultura, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, México.

*Autor de correspondencia, lmercier04@cibnor.mx





Resumen

Desde hace varias décadas, se busca reducir la dependencia del sector acuícola por la *Artemia*, usando alimento artificial u otra presa viva en la alimentación tanto de larvas de crustáceos como de peces marinos. Hasta la fecha, los intentos realizados con alimentos vivos o formulados han mostrado resultados no completamente satisfactorios y la *Artemia* es considerada un “polvo mágico” difícil de reemplazar por algunos expertos. No obstante, el nematodo *Panagrolaimus* sp. presenta características muy atractivas, las cuales podrían convertirlo en un nuevo alimento vivo, de talla pequeña, libre de patógenos, sin límites de suministro y de fácil manejo para los acuicultores. Los primeros resultados obtenidos usando este nematodo como presa viva para alimentar las larvas del camarón blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei* son alentadores.

Palabras claves: camaronicultura, alimento vivo, *Litopenaeus vannamei*, nematodo, *Panagrolaimus* sp.

Abstract

For several decades, the aquaculture sector has been searching to reduce the dependence on *Artemia* as feed using artificial food or other live prey to feed both marine crustaceans and fish larvae. To date, attempts made with live or formulated feed have shown not completely satisfactory results, thus *Artemia* is considered by some aquaculture experts as a difficult “magic powder” to replace. However, the nematode *Panagrolaimus* sp. has very attractive characteristics, which could make it a new live food, small in size, free of pathogens, without supply limits and easy

to handle for aquaculture production. In fact, the first results obtained using this nematode -as live prey to feed the larvae of the whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* larvae- have been encouraging.

Key words: shrimp farming, live feed, *Litopenaeus vannamei*, nematode, *Panagrolaimus* sp.

Introducción

La *Artemia* es un pequeño camarón utilizado en la acuicultura como alimento para cultivar las larvas de la mayoría de las especies de peces y crustáceos marinos (Sorgeloos *et al.*, 1998, 2001). También es usada en acuariofilia para criar peces ornamentales. Su uso es muy práctico ya que los huevos o quistes de *Artemia* (ver figura 1a) pueden ser almacenados enlatados por varios meses o años y ser hidratados durante 18-24 horas previas a su administración como

alimento. La hidratación permite la eclosión de los quistes y obtención de los nauplios (ver figuras 1a y 1b).

El término nauplio denomina a la primera fase larval de todos los crustáceos y los nauplios de *Artemia* son la forma más comúnmente en que la *Artemia* es suministrada como alimento a las larvas de peces y crustáceos marinos. Por esa facilidad de empleo, el aspecto de los quistes, así como el pequeño tamaño y alto valor nutritivo de los nauplios, la *Artemia* ha sido designada como un “polvo mágico” por varias personas (Wright, 2017).

No obstante, desde hace aproximadamente 50 años, se busca reemplazar el uso de la *Artemia* en la larvicultura de peces y crustáceos marinos por otros alimentos vivos o artificiales. Esta substitución está principalmente motivada por las limitaciones y fluctuaciones que existen en la producción de *Artemia* a

nivel mundial, las cuales tienen un impacto directo sobre el precio de los quistes. Otros problemas ligados a su uso son la elevada fluctuación en la tasa de eclosión de los quistes (Vanhaecke y Sorgeloos, 1983), así como la alta variación en la calidad nutricional de los nauplios en función de su zona geográfica de producción y época de cosecha (Léger *et al.*, 1986; Sorgeloos *et al.*, 1998).



Figura 1. (a) Un nauplio de *Artemia* recién salido de un quiste; (b) Nauplio de *Artemia* observado con un microscopio.

Por lo anterior, muchas investigaciones han intentado reemplazar total- o parcialmente la *Artemia* en los cultivos larvarios de organismos acuáticos. En el caso del camarón

blanco del Pacífico *Litopenaeus vannamei*, algunos alimentos vivos (principalmente copépodos y nematodos) y alimentos inertes fueron probados para reducir el uso de la *Artemia* en el cultivo larvario (Biedenbach *et al.*, 1989; Focken *et al.*, 2006; Gallardo *et al.*, 2013; Gamboa-Delgado y Le Vay, 2009; Goytortúa Bores, 2013; Paz *et al.*, 2020; Wilkenfeld *et al.*, 1984). En el presente artículo, se muestran los primeros resultados obtenidos usando el nematodo *Panagrolaimus* sp. como presa viva para alimentar las larvas del camarón blanco del Pacífico.

Se proporciona también información científica e histórica sobre el uso de la *Artemia* en la acuicultura.

Presentación de la *Artemia*

Este organismo fue descrito por primera vez en 1755 por Schlosser (Kuenen y Baas-Becking, 1938) y tres años después fue nombrado

por Linnaeus (1758) como *Cancer salinus*. En 1819, Leach lo renombró como *Artemia salina* (Bengston *et al.*, 1991) y desde entonces se describieron otras nueve especies pertenecientes al género *Artemia*.

La *Artemia* es un crustáceo branquiópodo sin caparazón conocido comúnmente como “camarón de salmuera” en español y “brine shrimp” en inglés. Viven en aguas continentales y costeras con altas concentraciones de sal.

En las salineras, la *Artemia* se encuentra en los estanques de evaporación, desde una concentración de sal de 100mg/L hasta 200-250mg/L (Sorgeloos y Tackaert, 1991).

Aunque su distribución es cosmopolita, la mayor abundancia de *Artemia* se encuentra en zonas tropicales y subtropicales. Se alimenta principalmente de algas unicelulares, bacterias, protozoarios y pequeños detritos presentes en los cuerpos de agua. Morfológicamente, la *Artemia* posee un cuerpo segmentado cubierto por una cutícula de quitina, la cual se renueva con cada muda. En su tórax, presenta unas estructuras llamadas toracópodos, las cuales se encargan de la locomoción, respiración y filtración (ver figura 2).

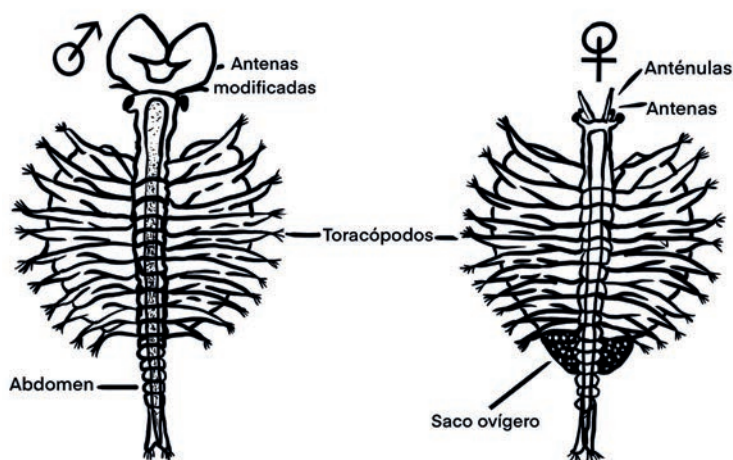


Figura 2. Morfología externa de una *Artemia* adulta macho (♂) y hembra (♀).

El ciclo de vida de la *Artemia*, desde huevo hasta adulto, tiene una duración aproximada de dos semanas y pasa por las fases de nauplio, metanauplio, juvenil y adulto (ver figura 3).

En la tabla 1, se presentan los diferentes tamaños del animal en función de su desarrollo.

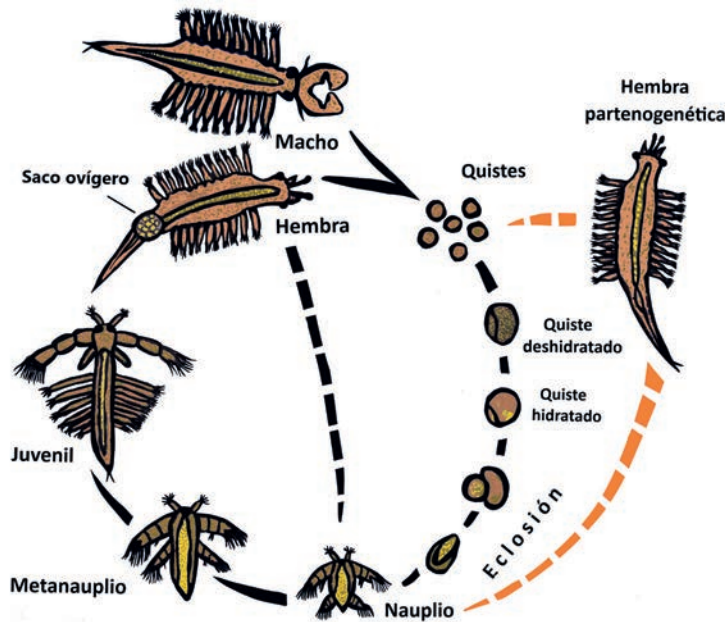


Figura 3. Ciclo de vida de la *Artemia*.

Tabla 1. Tamaño de la *Artemia* en función de su estadio de desarrollo.

ESTADIO	TAMAÑO	REFERENCIAS
Quiste hidratado	225 - 260 μ m	Vanhaecke y Sorgeloos, 1980
Nauplio	428 - 517 μ m	Vanhaecke y Sorgeloos, 1980
Metanauplio	0.9 - 2.6 mm	FAO, 1988
Juvenil	2.7 - 5 mm	FAO, 1988
Adulto hembra	6 - 10 mm	FAO, 1988
Adulto macho	5 - 12 mm	FAO, 1988

La *Artemia* se reproduce de distintas formas de acuerdo con las condiciones ambientales y de las especies. Puede reproducirse por partenogénesis (sin fecundación entre el macho y la hembra) o sexualmente (ver figura 3), dándose de forma ovovivípara (=el desarrollo del huevo se realiza en el saco ovígero de la hembra) y ovípara (=el huevo está

liberado del saco ovígero y su desarrollo se realiza externamente) (Lavens y Sorgeloos, 1987).

Aspectos históricos de la producción y demanda de quistes de *Artemia*

A partir de los años 1930s, el sector acuícola mostró interés en la *Artemia* ya que un grupo de científicos evidenció que era una excelente presa viva para alimentar las larvas de peces recién nacidas (Seale, 1933). Con el crecimiento de la acuicultura a finales de los 1960s y comienzos de los 1970s, se incrementó el uso de nauplios de *Artemia* en los cultivos de larvas de peces marinos y crustáceos (Bengston *et al.*, 1991).

La producción de quistes de *Artemia* inicialmente localizada en la bahía de San Francisco y los Grandes Lagos Salados de Utah en Estados Unidos (EU) se extendió hacia el Lago Chaplin en Canadá. Dicha producción que inicialmente



abastecía los mercados de Estados Unidos y Canadá, rápidamente se encontró rebasada por la creciente demanda mundial. A partir de 1976, se exploraron nuevas zonas naturales de producción en Europa, Asia, América y Australia, pero sus capacidades no cumplieron totalmente las expectativas. Debido a la gran demanda de *Artemia* a nivel global, el precio del kilogramo de *Artemia* pasó de \$10 a \$ 50-100 dólares U.S. entre los años 1950s y 1980s (Bengston *et al.*; 1991). Este incremento se debió también a cambios ambientales temporales como es el fenómeno de “El Niño”, los cuales modificaron la salinidad del agua de los principales lagos explotados y afectaron la producción de *Artemia* (Sorgeloos *et al.*, 2001). En el 2000, la demanda de quistes de *Artemia* era tan alta que solamente se pudo satisfacer a una pequeña porción de ella, poniendo en riesgo a la

industria acuícola muy dependiente del uso de esta presa viva (Sorgeloos *et al.*, 2001).

Hoy en día, no se conoce de manera precisa la cantidad de quistes de *Artemia* producida a nivel mundial; sin embargo, los datos más actualizados mencionan que los principales países productores son: EU, China, Rusia y Kazajistán. Entre 2012 y 2014, la producción de *Artemia* en estos países fue estimada entre 3 mil y 4 mil toneladas (Litvinenko *et al.*, 2015).

Ventajas y desventajas del uso de la *Artemia* como alimento vivo

En la tabla 2, se presentan las ventajas y desventajas del uso de la *Artemia* en la práctica acuícola.

Tabla 2. Ventajas y desventajas del uso de la *Artemia* como presa viva en la acuicultura.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
· Facilidad en la eclosión de los quistes · Versatilidad y pequeño tamaño del nauplio · Soporta la desecación · Almacenamiento de los quistes en anaquel · Alto contenido de proteínas y lípidos	· Alta demanda y limitada disponibilidad · Alto precio en el mercado (≈\$150-170 U.S./kg) · Altos costos de producción y personal técnico · La eclosión dura de 18h a 24h · Fluctuación en la tasa de eclosión de los quistes · Variación en la calidad nutricional del nauplio · Puede contener patógenos y metales pesados · Pobre en algunos ácidos grasos altamente insaturados

Sustitución de la *Artemia* por el nematodo *Panagrolaimus* sp.: primeros resultados en el cultivo larvario del camarón blanco del Pacífico

El camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) es el crustáceo mayormente producido por la acuicultura a nivel mundial. En México, su cultivo representa el 40% de la producción acuícola total, con un volumen de

aproximadamente 158 mil toneladas y un valor estimado en más de 12 mil millones de pesos (CONAPESCA, 2018).

La cría de larvas de camarón se realiza en laboratorios bajo condiciones controladas y las postlarvas producidas son sembradas en granjas de engorda. En la mayoría de los laboratorios, los nauplios de *Artemia* son usados para alimentar a los primeros estadios larvales del camarón (desde zoea 3 o mysis 1; ver figura 4). Cuando éste es más grande, la *Artemia* se combina con alimento microparticulado o se enriquece con ácidos grasos altamente insaturados (HUFAs, por sus siglas en inglés), tales como el ácido docosahexaenoico (22:6n-3; DHA), ácido eicosapentaenoico (20:5n-3; EPA) y ácido araquidónico (20:4n-6; ARA).

El gusano *Panagrolaimus* sp. (cepa NFS 24-5) es un nematodo de vida libre, de

cuerpo cilíndrico y alargado que se alimenta principalmente de bacterias (Honnens y Ehlers, 2013). Mide entre 176 - 1377µm de longitud y de 8 a 61µm de diámetro (Honnens y Ehlers, 2013). Adicionalmente, tiene la capacidad de permanecer activo durante 24h en agua de mar (Honnens y Ehlers, 2013). Al igual que la *Artemia*, *Panagrolaimus* sp. presenta la capacidad de poder ser desecado, almacenado y fácilmente rehidratado para ser usado como alimento vivo (Honnens *et al.*, 2013).



Figura 4. Etapas del desarrollo larvario de un camarón peneido (Modificado de Tabb *et al.*, 1972).



Figura 5. Nematodo *Panagrolaimus* sp. (cepa NFS 24-5) observado con un microscopio.

Puede ser también producido en grandes cantidades, bajo condiciones estériles, de tal manera que no transmite ninguna enfermedad, virus o bacterias no deseadas. Su



contenido en proteínas y lípidos es aproximadamente del 40% y 20%, respectivamente. Contiene naturalmente los ácidos grasos esenciales EPA y ARA, y puede ser enriquecido en DHA suplementándolo con la emulsión comercial S.presso (INVE), rica en ácidos grasos polinsaturados, o el dinoflagelado *Cryptothecodinium cohnii* (Honnens *et al.*, 2014; Seychelles *et al.* 2017).

Dos experimentos que consistieron en alimentar larvas de camarón con *Artemia* y *Panagrolaimus* sp. fueron realizadas en tanques de 10L. En el primer experimento, nauplios 5 del camarón *Litopenaeus vannamei* fueron transferidos y alimentados todos los días con una mezcla de microalgas (70% *Chaetoceros muelleri* + 30% *Isochrysis galbana*). Cuando los animales alcanzaron el estadio zoea 2, el nematodo *Panagrolaimus* sp. fue añadido a la dieta de las larvas (cuatro tanques), suministrándolo tres veces al día.

Otros cuatro tanques recibieron nauplios de *Artemia* recién eclosionados (tratamiento control) a la misma frecuencia de alimentación y considerando un peso seco equivalente al de los nematodos. Es importante mencionar que el suministro de *Artemia* empezó dos días después, es decir cuando los camarones estuvieron en el estadio zoea 3, ya que el tamaño de la *Artemia* es mayor que el de los nematodos.

El segundo experimento fue realizado en el mismo sistema experimental, usando cinco réplicas para cada una de las dietas que se probaron: 1- *Artemia*, 2- *Panagrolaimus* sp. enriquecido con *C. cohnii*, 3- *Panagrolaimus* sp. enriquecido con S.presso.

En ambos experimentos, las larvas del camarón *Litopenaeus vannamei* fueron cultivadas bajo condiciones controladas, manteniendo la temperatura del agua a $30.6 \pm 0.9^\circ\text{C}$ y la salinidad a 33ups. La concentración del oxígeno

disuelto en el agua fue de aproximadamente 5mg/L.

La eclosión de los quistes de *Artemia franciscana* fue realizada a 24°C , bajo aireación fuerte y exposición a la luz. Después de 24h, los nauplios de *Artemia* fueron cosechados con un tamiz tratando de eliminar la mayoría de las cáscaras de los quistes. Los nematodos *Panagrolaimus* sp. fueron producidos en un biorreactor, lavados y deshidratados. Antes de su deshidratación, algunos lotes fueron enriquecidos con el dinoflagelado *C. cohnii* o la emulsión comercial S.presso. La producción y el enriquecimiento de los nematodos fueron realizados en la empresa de biotecnología e-nema GmbH (Schwentinental, Alemania).

En ambos experimentos, la mayoría de las larvas alcanzaron los estadios de mysis 1 (M1) y postlarvas 1 (PL 1) en el sexto y undécimo día de cultivo, respectivamente. Las

larvas M1 alimentadas con el nematodo *Panagrolaimus* sp. (enriquecido o no) fueron significativamente más largas (300µm) que las larvas alimentadas con *Artemia* (ver figuras 6A y 7A). Esta ventaja en el crecimiento era previsible ya que los nematodos se introdujeron dos días antes que la *Artemia*. Como se mencionó anteriormente, los nauplios de *Artemia* son demasiado grandes para ser consumidos por las larvas zoea de camarón. Éstas se alimentan por filtración, por lo que pueden ingerir presas enteras solo en escasas ocasiones; por ejemplo, cuando se alimentan con formas cilíndricas de muy pequeño diámetro (Guillaume y Ceccaldi, 1999) como son los nematodos.

En la etapa de PL 1, las larvas del tratamiento control tuvieron una longitud significativamente mayor (800µm en el experimento 1; 200-300µm en el experimento 2) comparado con las larvas alimentadas con nematodos (ver figuras 6A y 7A) y cuando las larvas alcanzaron el estadio PL 6, no se observaron diferencias significativas de longitud en función de las dietas suministradas.

El peso seco de las PL 1 no fue significativamente diferente entre los diferentes tratamientos tanto en el experimento 1 ($57.7 \pm 17.6\mu\text{g}$) como en el experimento 2 ($55.7 \pm 30.8\mu\text{g}$) (ver figuras 6B y 7B, respectivamente) y tampoco se observaron diferencias de esta variable en la etapa PL 6 (ver figura 7B). La supervivencia también fue similar entre los tratamientos en el experimento 1 y experimento 2 (tanto a PL 1 como a PL 6) (ver figuras 6C y 7C).

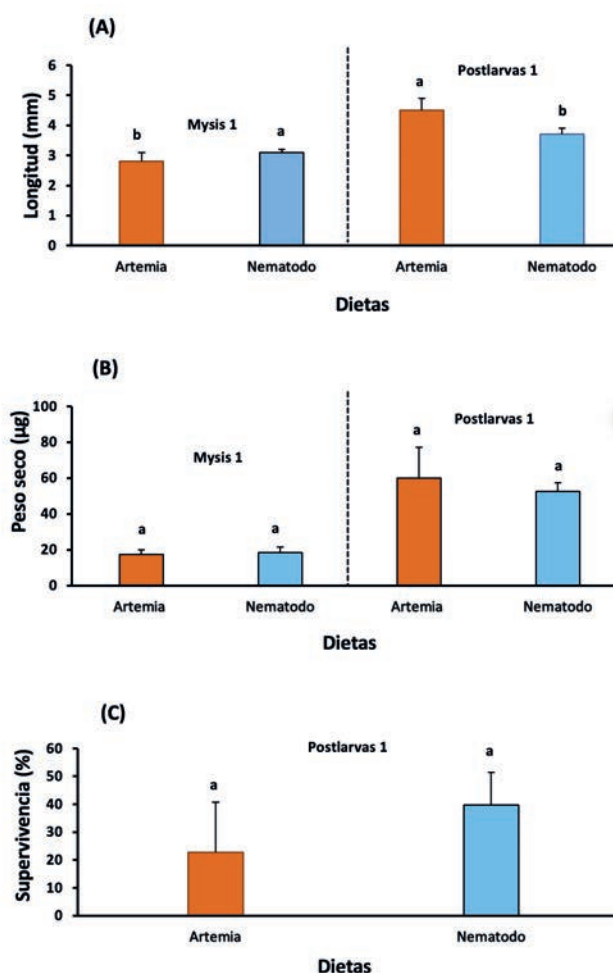
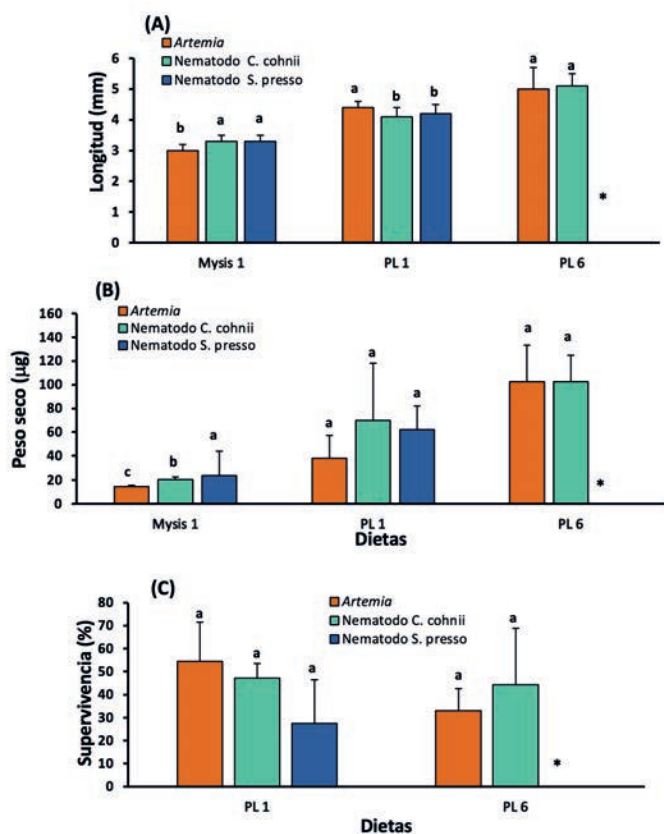


Figura 6. EXPERIMENTO 1. Longitud (A), peso seco (B) y supervivencia (C) de mysis 1 y postlarvas 1 de camarón blanco del Pacífico alimentadas con *Artemia* y *Panagrolaimus* sp. Las barras representan el promedio $\pm$ desviación estándar (n=4). Diferentes letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los grupos.



Nota: * No se pudo muestrear este tratamiento a PL 6

Figura 7. EXPERIMENTO 2. Longitud (A), peso seco (B) y supervivencia (C) de mysis 1, postlarvas 1 (PL 1) y 6 (PL 6) de camarón blanco del Pacífico alimentadas con *Artemia* y *Panagrolaimus* sp. Las barras representan el promedio $\pm$ desviación estándar (n=5). Diferentes letras indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los grupos.

Consideraciones finales y perspectivas:

No ha sido fácil encontrar un alimento sustituto de la *Artemia* en los cultivos larvarios de crustáceos y peces marinos. El presente estudio muestra que el nematodo *Panagrolaimus* sp. tiene potencial para reemplazar la *Artemia* en el cultivo larvario del camarón blanco del Pacífico. No obstante, estos resultados preliminares tienen que ser validados a una escala mayor, utilizando volúmenes de agua más grande, y se necesitan más investigaciones para definir los parámetros óptimos del suministro de este nematodo en el cultivo larvario del camarón blanco del Pacífico. El

hecho de poder enriquecer los nematodos con ácidos grasos esenciales es muy interesante. En este estudio, cuando las larvas fueron alimentadas con nematodos enriquecidos en ácidos grasos poliinsaturados, su crecimiento fue mayor al observado en larvas cultivadas con nematodos no-enriquecidos.

Agradecimientos:

Los resultados presentados en este artículo provienen de investigaciones financiadas por el “Deutsche Bundesstiftung Umwelt” (# 28110-34) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Fondo SEP-CONACyT, # 220642). Los autores agradecen a Sandra de La Paz y Julián Garzón por su valioso apoyo durante los experimentos, así como a Gerardo Hernández por su excelente trabajo en el diseño editorial de este artículo. Los nauplios de

camarón fueron donados por la empresa Acuicultura Mahr (Pichilingue, B.C.S., México).

La totalidad de los resultados científicos pueden ser consultados en la siguiente publicación:

Seychelles L.H., Happe S., Palacios E., Ludwing M., Hollmer S., Ehlers R.-U., Schulz C. y Mercier L. (2018). Successful rearing of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* larvae, using a desiccation-tolerant nematode to replace *Artemia*. *Aquaculture Nutrition*;24(2). pp.903-910.

Literatura citada:

- Bengtson, D.A., P. Léger y P. Sorgeloos. 1991. *Use of Artemia as a food source for aquaculture*. pp. 255–285. En: Browne, R.A., P. Sorgeloos y C.N.A. Trotman (Eds.). *Artemia Biology*. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. 384 pp.
- Biedenbach, J.M., L.L. Smith, T.K. Thomsen y A.L. Lawrence. 1989. *Use of the nematode Panagrellus redivivus as an Artemia replacement in a larval penaeid diet*. *Journal of the World Aquaculture Society* 20 (2): 61-71. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1989.tb00525.x>.
- CONAPESCA. 2018. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2018*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Mazatlán, México. 293 pp.
- FAO. 1988. *Manual operativo y definición de un laboratorio de 160 millones de PL/año*. En: <http://www.fao.org/3/AC410S/AC410S03.htm> (consultado el 22 de marzo de 2021).
- Focken, U., C. Schlechtriem, M. von Wuthenau, A. García-Ortega, A. Puello-Cruz y K. Becker. 2006. *Panagrellus redivivus mass produced on solid media as live food for Litopenaeus vannamei larvae*. *Aquaculture Research* 37: 1429-1436. Doi: 10.1111/j.1365-2109.2006.01578.x.
- Gallardo, P.P., G. Martinez, G. Palomo, A. Paredes, G. Gaxiola, G. Cuzon y R. Pedroza-Islas. 2013. *Replacement of Artemia franciscana nauplii by microencapsulated diets: effect on development, digestive enzymes, and body composition of white shrimp, Litopenaeus vannamei, larvae*. *Journal of the World Aquaculture Society* 44 (2): 187-197. <https://doi.org/10.1111/jwas.12031>.
- Gamboa-Delgado, J. y L. Le Vay. 2009. *Artemia replacement in co-feeding regimes for mysis and postlarval stages of Litopenaeus vannamei: Nutritional contribution of inert diets to tissue growth as indicated by natural carbon stable isotopes*. *Aquaculture* 297 (1-4): 128-135. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.09.009>.



- Goytortúa Bores, E. 2013. *Evaluación de alimentos inertes como sustitutos de los nauplios de Artemia en la alimentación de larvas y postlarvas tempranas de camarón blanco (Litopenaeus vannamei)*. Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 203 pp.
- Guillaume, J. y H.J. Ceccaldi. 1999. *Physiologie digestive des crevettes*. pp. 297–312. En: Guillaume, J., S. Kaushik, P. Bergot y R. Métailler (Eds.), *Nutrition et alimentation des poissons et crustacés*, 1st edn. INRA Editions, Paris. 490pp.
- Honnens, H. y R.-U. Ehlers. 2013. *Liquid culture of Panagrolaimus sp. for use as food for marine aquaculture shrimp and fish species*. *Nematology* 15 (4): 417-429. <https://doi.org/10.1163/15685411-00002689>.
- Honnens, H., T. Assheuer y R.-U. Ehlers. 2013. *Desiccation and storage of Panagrolaimus sp. (strain NFS-24-5)*. *Nematology*, 15 (5): 557-566. <https://doi.org/10.1163/15685411-00002701>.
- Honnens, H., T. Assheuer y R.-U. Ehlers. 2014. *Enrichment of the nematode Panagrolaimus sp., a potential live food for marine aquaculture, with essential n-3 fatty acids*. *Aquaculture International*, 22 (2): 399-409. <https://doi.org/10.1007/s10499-013-9648-3>.
- Kuenen, D.J. y L.G.M. Baas-Becking. 1938. *Historical notes on Artemia salina (L.)*. *Rijkmuseum van Natuurlijke Historie Zoologische Mededelingen* 20: 222.
- Lavens, P. y P. Sorgeloos. 1987. *The cryptobiotic state of Artemia cysts, its diapause deactivation and hatching: a review*. pp. 27-63. En: Sorgeloos, P., D.A. Bengtson, W. Declair y E. Jaspers (Eds.), *Artemia research and its applications*, Vol. 3. Ecology, Culturing, Use in Aquaculture. Universa Press, Wetteren, Belgium. 556p.
- Leach, W.E. 1819. *Entomostraca*. *Dictionnaire des Sciences Naturelles* 14: 525.
- Léger, P., D.A. Bengtson, K.L. Simpson y P. Sorgeloos. 1986. *The use and nutritional value of Artemia as a food source*. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 24: 521-623.
- Linnaeus, C. 1758. *Systema naturae*. *Holmiae* 1: 634.
- Litvinenko, L.I., A.I. Litvinenko, E.G. Boiko y K. Kutsanov. 2015. *Artemia cyst production in Russia*. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 33 (6): 1436-1450. <https://doi.org/10.1007/s00343-015-4381-6>.
- Paz, P.E., A.J. López-Cabús, L.X. Cárdenas-Nieto y W. Pejuán. 2020. *Replacement of Artemia spp. with zooplankton in Penaeus vannamei larviculture*. *Latin American Journal of Aquatic Research* 48 (4): 700-704. <http://dx.doi.org/10.3856/vol48-issue4-fulltext-2462>.

- Seale, A. 1933. *Brine shrimp (Artemia) as a satisfactory food for fishes*. Transactions of the American Fisheries Society 63 (1): 129-130. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1933\)63\[129:TBSAAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1933)63[129:TBSAAA]2.0.CO;2).
- Seychelles, L.H., L. Mercier, S. Holmer, M. Wittke y R.-U. Ehlers. 2017. *A desiccation-tolerant nematode as live feed for Litopenaeus vannamei (Boone) larvae*. Aquaculture Research 48: 5146-5149. <https://doi.org/10.1111/are.13177>.
- Sorgeloos, P. y W. Tackaert. 1991. *Roles and potentials of Artemia in coastal saltworks*. pp. 386-394. En: Cheng, L. (Ed.). Proceedings of International Symposium on Biotechnology of Saltponds, Sept. 18-21, Tanggu, Tianjin, PR China. Salt Research Institute. Tanggu, Tianjin. 283 pp.
- Sorgeloos, P., P. Coutteau y P. Dhert. 1998. *Use of brine shrimp, Artemia spp., in larval crustacean nutrition: A review*. Reviews in Fisheries Science 6: 55-68. <https://doi.org/10.1080/10641269891314195>.
- Sorgeloos, P., P. Dhert y P. Candreva. 2001. *Use of the brine shrimp, Artemia spp., in marine fish larviculture*. Aquaculture 200 (1-2): 147-159. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00698-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00698-6).
- Tabb, D.C., W.T. Yang, Y. Hirono y J. Heinen. 1972. *A manual for culture of pink shrimp, Penaeus duorarum, from eggs to postlarvae for stocking*. University of Miami, Sea Grant. Special Publication #7. 59 pp.
- Vanhaecke, P. y P. Sorgeloos. 1980. *International Study on Artemia: IV. The biometrics of Artemia strains from different geographical origin*. pp. 393-405. En: Persoone, G., P. Sorgeloos, O. Roles y E. Jaspers (Eds). The Brine Shrimp Artemia Ecology. Culturing, Use in Aquaculture. Universa Press, Wetteren, Belgium. 456 pp.
- Vanhaecke, P. y P. Sorgeloos. 1983. *International study on Artemia: XIX. Hatching data for ten commercial sources of brine shrimp cysts and re-evaluation of the "hatching efficiency" concept*. Aquaculture 30 (1-4): 43-52. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90150-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90150-3).
- Wilkenfeld, J.S., A.L. Lawrence y F.D. Kuban. 1984. *Survival, metamorphosis and growth of penaeid shrimp larvae reared on a variety of algal and animal foods*. Journal of the World Mariculture Society 15: 31-49.
- Wright, J. 2017. *Artemia, "the magic powder" fueling a multi-billion-dollar industry*. En: <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/artemia-the-magic-powder-fueling-a-multi-billion-dollar-industry/> (Global Aquaculture Advocate, consultado el 8/03/2021).

**CITA DE ARTICULO:**

López M., L. H. Seychelles, L. Hernández, J. A. Ayala-Aguilar, L. Mercier. 2021. Potencial del nematodo *Panagrolaimus* sp. para remplazar a la *Artemia*, el “polvo mágico”, usado como alimento en los cultivos larvarios de crustáceos y peces marinos. Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 47-60. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0004>

Sometido: 14 de mayo de 2021

Revisado: 17 de junio de 2021

Aceptado: 19 de julio de 2021

Editor asociado: Dr. Pedro Cruz Hernández

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

Compuestos bioactivos derivados de moluscos marinos

Bioactive compounds derived from marine mollusks

Resumen

Los compuestos bioactivos son compuestos que pueden tener un efecto positivo en los organismos. Las propiedades benéficas que presentan han permitido el desarrollo de la industria alimentaria, cosmetológica, farmacológica, y para el desarrollo de nuevos materiales. Los organismos marinos son una fuente promisoría de compuestos bioactivos, ya que se desarrollan en diferentes nichos ecológicos, permitiendo la síntesis de una variedad de moléculas, con diferentes estructuras químicas y bioactividades. En la presente revisión se muestran los compuestos bioactivos de moluscos, tanto de extractos crudos, es decir de una mezcla de compuestos obtenidos de un tejido u organismo, como de compuestos que han sido aislados de los extractos, conocidos como compuestos puros, que se han descrito de 2010 a 2020, dentro de los cuales destacan compuestos con actividad osteogénica, de adhesión, antagonista de los canales de calcio, anticoagulante, antifúngico, antimicrobiano, entre otros. Así mismo, se describen los compuestos bioactivos más estudiados basados en su bioactividad, osteogénicos, péptidos antimicrobianos y proliferativos. Además, se incluyen los compuestos bioactivos derivados de moluscos que se encuentran aprobados por la Administración de Alimentos y

Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 61-84. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0005>

Crisalejandra Rivera Pérez^{1*}, Norma Y. Hernández Saavedra²

¹CONACYT-Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, Baja California Sur, México.

²Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, Baja California Sur, México.

*Autor de correspondencia: crivera@cibnor.mx

Medicamentos de Estados Unidos y los que se encuentran en fase clínica I, II y III. Finalmente, se hace hincapié en las áreas de conocimiento que se necesita reforzar para el mejor entendimiento de estos compuestos y su potencial aplicación en la industria.

Palabras clave: moluscos, bioactivo, osteogénicos, antimicrobianos, proliferativos.

Abstract

The bioactive compounds are molecules that can have a positive effect on organisms. The beneficial properties they present have allowed the development of the food technology, cosmetic, pharmaceutical, and for the development of new materials. The marine organisms are a promising source of bioactive compounds, since they develop in different ecological niches, allowing the synthesis of a wide range of biomolecules with different chemical structures and bioactivities. This review shows the bioactive compounds from Mollusks, both from raw extracts, a mixture of compounds obtained from tissues or full organism, and compounds isolated from raw extracts known as pure compounds, described from 2010 to 2020, such as osteogenic, adhesion, calcium channel antagonist, anticoagulants, antifungal, among others. Likewise, the most studied bioactive compounds based on their bioactivity, osteogenic, antimicrobial peptides and proliferative are described. In addition, it includes the bioactive compounds derived from mollusks that are approved by the Food and Drug Administration of the United States and those that are in clinical phase I, II and III. Finally, emphasis is placed on the areas of knowledge that need to be strengthened for

a better understanding of these compounds and their potential application in the industry.

Keywords: Mollusks, bioactive, osteogenic, antimicrobial, proliferative.

Introducción

La palabra compuesto bioactivo procede del griego *bios*, vida y *activus*, con energía, y refiere a todas aquellas sustancias que, aunque se encuentran en baja concentración (p. ej. omegas y antioxidantes en alimentos), tienen un efecto positivo o negativo en un organismo, mientras que un compuesto activo refiere a la molécula activa que ejerce una función fisiológica en el organismo (p. ej. farmacológica, inmunológica o metabólica).

Los compuestos bioactivos varían en naturaleza y estructura, lo que impacta directamente en la biodisponibilidad

(cantidad absorbida, metabolizada y utilizada) y en sus propiedades biológicas (Septembre-Malaterre *et al.*, 2018).

Se pueden encontrar en organismos vivos como bacterias, hongos, plantas, insectos y organismos marinos (Chandika *et al.*, 2015; Zeb y Lee, 2021). Sin embargo, también se pueden obtener de manera sintética para obtener compuestos similares a los que se encuentran en la naturaleza o completamente diferentes (Katz *et al.*, 2011).

Los compuestos bioactivos se han estudiado ampliamente por el impacto positivo en las funciones en los organismos y su influencia en el estado de salud (Kitts y Weiler, 2003). Estos compuestos son capaces de modular los procesos metabólicos a través de su capacidad antioxidante (secuestrador de radicales libres), inhibición de receptores, inhibición y/o inducción de enzimas y la expresión de genes (Carbonell-Capella *et al.*, 2014), por lo que tienen gran potencial terapéutico (Siriwardhana *et al.*, 2013).

Los compuestos bioactivos se han clasificado basado en su tamaño como 1) pequeñas (p. ej. ácidos grasos, terpenoides, esteroides, etc.) y 2) grandes (p. ej. polisacáridos, ácidos nucleicos y proteínas) (Zeb y Lee, 2021). Sin embargo, la clasificación más usada los separa en compuestos orgánicos (p. ej. lípidos, proteínas y derivados, carbohidratos, terpenoides y compuestos fenólicos) o inorgánicos (minerales) (Hamed *et al.*, 2015).

Una de las fuentes de compuestos bioactivos más exploradas es la de origen marino. Los ecosistemas marinos presentan una gran variedad de ambientes (p. ej. humedales, bahías, ventilas hidrotermales con temperaturas de hasta 350 °C, etc.) donde habitan una gran diversidad de organismos, con adaptaciones metabólicas que les permiten producir moléculas bioactivas en elevadas concentraciones, que se liberan al medio acuoso como mecanismo de

defensa ante depredadores (Costa-Lotufo *et al.*, 2009).

En la última década se han descrito 1,145 compuestos naturales de moluscos (Benkendorff *et al.*, 2015), de los cuales solo el 1% se ha estudiado por su potencial actividad biológica (Ahmad *et al.*, 2018). Los principales estudios de estos compuestos se han enfocado a su potencial uso en la industria farmacéutica por su actividad osteogénica, adhesión, anticoagulante, antimicrobiano, anti-inflamatorio, entre otros.

En la industria alimentaria se han descrito varios compuestos bioactivos de origen marino que se emplean como nutraceuticos, los cuales son alimentos o ingredientes de alimentos que ejercen una acción benéfica en la salud del hombre (Guzmán *et al.*, 2009).

Actualmente, existen al menos doce productos comerciales derivados de diferentes especies

de moluscos que se comercializan como nutraceuticos (Chakraborty y Joy, 2020). Las principales fuentes de estos nutraceuticos son ostras, mejillones y abulones, y su uso terapéutico es principalmente para el tratamiento de artritis, suplemento con actividad anti-inflamatorio y fortalecimiento del sistema inmune (Chakraborty y Joy, 2020). Sin embargo, solo tres compuestos bioactivos con propiedades farmacológicas han sido aprobados por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) y al menos diez se encuentran en fase clínica.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (2019), se ha solicitado la búsqueda de compuestos que hagan frente a patógenos considerados prioritarios a nivel mundial, pero solo se han presentado 32

opciones de antibióticos que se encuentran en desarrollo clínico, de los cuales solo seis se han clasificados como innovadores, y ninguno es de origen marino. El incremento en la resistencia de fármacos ha propiciado la búsqueda de nuevas fuentes de compuestos que puedan ayudar a solventar esta problemática y las fuentes de origen marino han mostrado, desde hace dos décadas, que existen candidatos prometedores.

La búsqueda de compuestos bioactivos en organismos marinos en México aún es incipiente, sin embargo, México puede ser un motor de desarrollo para la industria farmacéutica debido al extenso mar territorial que posee y la variedad de ambientes marinos que aloja; lo que lo hace un nicho para potencialmente descubrir nuevos compuestos bioactivos que coadyuven a solucionar algunas de las problemáticas de salud pública nacional e internacional y, de esta forma, impactar en el desarrollo económico.

Compuestos bioactivos en moluscos de origen marino

Mollusca es el segundo filo de organismos más diverso en la tierra, constituyen alrededor del 7% de todos los organismos (Ruppert y Barnes, 1996). Hay 52,000 nombres de especies de moluscos marinos (Bouchet y Duarte, 2006) y se ha estimado una diversidad de especies de 100,000 – 200,000 (Pechenik, 2000). Los moluscos no sólo son diversos en términos de especies, sino también en la morfología y los ecosistemas donde se desarrollan, los cuales son complejos, con un amplio rango de límites de presión de 1 a 1000 atm, variación en la disponibilidad de nutrientes (oligotrófico o eutrófico), condiciones térmicas que van desde congelamiento en el Antártico a más de 350 °C en las ventilas hidrotermales (Costa-Lotufo *et al.*, 2009).

Los ecosistemas marinos han moldeado a estos organismos para producir compuestos bioactivos con una gran variedad de estructuras químicas que no se encuentran en organismos terrestres (Odeleye *et al.*, 2019) y que poseen una potencial bioactividad. Si bien, se han descrito más de 1,000 moléculas naturales derivadas de moluscos (Benkendorff *et al.*, 2015), solo se ha estudiado el potencial bioactivo del 1% de estos compuestos (Ahmad *et al.*, 2018).

Entre los compuestos bioactivos que se han descrito se incluyen proteínas, polisacáridos, pigmentos, terpenos y esteroides (Gerwick y Moore, 2012); los terpenos y esteroides se han encontrado diferencialmente entre gasterópodos y bivalvos en un 55 y 41%, respectivamente (Chakraborty y Joy, 2020).

De acuerdo a una búsqueda en PubMed del National Library of Medicine (NCBI), empleando las palabras clave “bioactive compound + Mollusk”, de 2010 a 2020 ha habido un incremento en el número de publicaciones de compuestos bioactivos de moluscos (Figura 1), siendo el 2020 con el mayor número de publicaciones (28 publicaciones).

Estas investigaciones han identificado una gran cantidad de compuestos bioactivos de diferente naturaleza

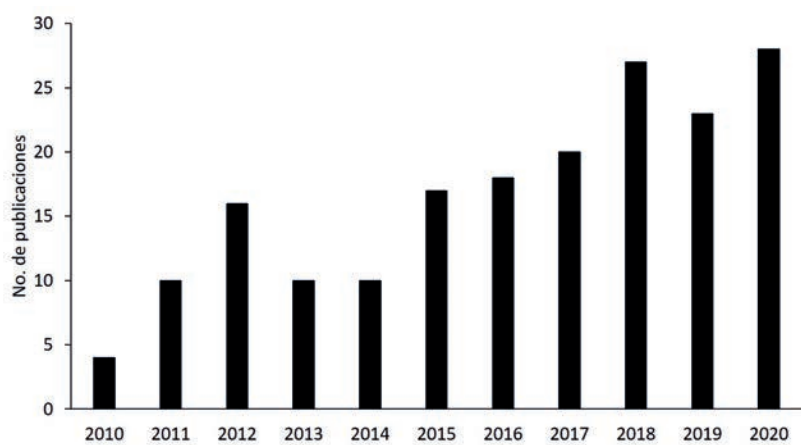


Figura 1. Publicaciones de compuestos bioactivos de moluscos del 2010 al 2020, obtenidos de PubMed. Se empleó la palabra clave bioactive compounds +mollusk.

bioquímica, p. ej. proteínas, polisacáridos, nácar, alcoholes, etc. (Tabla 1), donde las principales especies estudiadas son bivalvos.

De 2010 a 2020, se han descrito al menos 32 compuestos bioactivos, de los cuales solo 11 son compuestos puros (Tabla 1). Estos compuestos se han obtenido de extractos de organismos completos, sangre, concha de moluscos, órganos individuales o compartimentos celulares (Armishaw, 2010; Kim *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012; Nguyen *et al.*, 2014; Oliveira *et al.*, 2012). En algunos casos, los extractos crudos derivados de estos tejidos u órganos han sido sometidos a hidrólisis con enzimas comerciales, resultando en una mezcla compleja de péptidos con bioactividad, mientras que un limitado número de investigaciones purifica los compuestos bioactivos.

**Tabla 1.** Compuestos bioactivos de moluscos marinos descritos de 2010-2020.

Especie	Naturaleza	Bioactividad	Observaciones	Referencia
<i>Pteria martensii</i>	Nácar	Actividad osteogénica	Inactivación de osteoclasto.	Kim <i>et al.</i> , 2012
<i>Crassostrea gigas</i>	Nácar	Actividad osteogénica	Actividad osteogénica.	Oliveira <i>et al.</i> , 2012
<i>Haliotis discus hannai</i>	Extracto del sistema digestivo	Actividad osteogénica	Incremento en fosfatasa alcalina y en los niveles de mineralización.	Nguyen <i>et al.</i> , 2014
<i>Pinctada fucata</i>	Extracto de concha soluble	Actividad osteogénica	Diferenciación de osteoblastos.	Chaturvedi <i>et al.</i> , 2013
Mejillones (varias especies)	Adhesina	Adhesión	Fabricación sólida de forma libre usando adhesinas de mejillones.	Hong <i>et al.</i> , 2012
<i>Conus magus</i>	Péptido (α -conotoxina)	Antagonista de los canales de calcio.	Producto comercial ziconotide (Prialt®).	Armishaw, 2010
<i>Terebra variegata</i>	Péptido	Antagonista de los canales de calcio.	Péptido rico en puentes disulfuro.	Anand <i>et al.</i> , 2014
<i>Haliotis discus hannai</i> Ino	Polisacáridos sulfatados	Anticoagulante	Anticoagulante.	Li <i>et al.</i> , 2011
<i>Nodipecten nodosus</i>	Heparan sulfato	Anticoagulante	Actividad anticoagulante, inhibidor de tromboplastina y factor Xa.	Gomes <i>et al.</i> , 2010
<i>Melo melo</i>	Extracto	Antifúngico	Inhibición de <i>Trichophyton mentagrophytes</i> y <i>Aspergillus flavus</i> .	Sivasubramanian <i>et al.</i> , 2011
<i>Paphia malabarica</i> , <i>Villorita cyprinoides</i>	Extracto crudo	Anti-hipertensivo	Inhibidor de ACE-ciclooxigenasa, y α -glucosidasa.	Joy <i>et al.</i> , 2016
<i>M. edulis</i>	Extracto de lípidos	Anti-inflamatorio	-	McPhee <i>et al.</i> , 2010
<i>Paphia malabarica</i>	Meroterpeno 2H piranoide	Anti-inflamatorio	Actividad contra ciclooxigenasa y lipoxigenasa.	Joy y Chakraborty, 2017
<i>Villorita cyprinoides</i>	Esteroles	Anti-inflamatorio	Actividad contra ciclooxigenasa y lipoxigenasa.	Joy y Chakraborty, 2018
<i>Paphia malabarica</i> , <i>Villorita cyprinoides</i>	Extracto	Anti-inflamatorio	Inhibidor de ACE-ciclooxigenasa, y α -glucosidasa.	Joy <i>et al.</i> , 2016
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Péptido (myticin C)	Antimicrobiano	-	Balseiro <i>et al.</i> , 2011
<i>Drupa margariticola</i>	Diterpenoide	Antimicrobiano	Actividad contra <i>S. typhimurium</i> , <i>V. cholerae</i> , <i>B. subtilis</i> .	Chellaram, 2014
<i>Perna viridis</i>	Extracto	Antimicrobiano	Efecto sobre <i>E.coli</i> K1, <i>P. aeruginosa</i> , <i>A. baumannii</i> .	Kiran <i>et al.</i> , 2014
<i>Arca inflata</i>	Proteína (Subunidad Hb-I de la hemoglobina)	Antimicrobiano	Acción antibacterial contra bacterias Gram (+) y Gram (-).	Li <i>et al.</i> , 2017
<i>Anadara granosa</i>	Extracto crudo	Anti-microbiano	Actividad inhibitoria contra <i>V. Harvey</i> .	Kumar <i>et al.</i> , 2017
<i>Haliotis fulgens</i> , <i>Haliotis corrugata</i>	Extracto hidrolizado	Antimicrobiano	Inhibición de <i>P. mirabilis</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. thyphi</i> , <i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i> y <i>B. subtilis</i> .	Ponce, 2015
<i>Crassostrea gigas</i>	3,5-dihidroxi-4-metoxibencil alcohol	Antioxidante	Actividad antioxidante de lipoproteínas de baja densidad.	Watanabe <i>et al.</i> , 2012

<i>Haliotis discus hannai</i>	Péptido	Anti-proliferativo	Inhibición de la señalización de α -catenina.	Kim <i>et al.</i> , 2016
<i>Patinopecten yessoensis</i>	Extracto crudo	Anti-proliferativo	Inhibición de células cancerígenas por regulación de los genes p53 y p21	Lee <i>et al.</i> , 2017
<i>Mytilus coruscus</i>	Extracto de lípidos	Anti-tumoral	Apoptosis de células cancerígenas.	Kim <i>et al.</i> , 2011
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	α -D-galactosa-lectina	Citotóxico	Efecto sobre células con linfoma.	Casas <i>et al.</i> , 2011
<i>Haliotis discus discus</i>	Proteína	Inhibidor de proteasa	Participa en el sistema inmune	Wickramaarachchi <i>et al.</i> , 2013
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Extracto de proteína	Proliferativo	Inductor de células epiteliales en quemaduras de piel.	Badiu <i>et al.</i> , 2010
<i>Mytilus edulis</i> , <i>Crassostrea gigas</i>	Extracto crudo	Proliferativo	Reducción de colágeno tipo I.	Latire <i>et al.</i> , 2017
<i>Meretrix meretrix</i>	Oligopéptidos	Proliferativo	Inhibición de la ruta de apoptosis.	Huang <i>et al.</i> , 2017
<i>Villorita cyprinoides</i>	Extracto crudo	Proliferativo	Actividad de protección del hígado.	Ajithkumar <i>et al.</i> , 2012
<i>Haliotis discus hannai</i> Ino	Extracto crudo acuoso e hidrolizado	Proliferativo	Actividad anti-inflamatoria de macrófagos.	Hasnat <i>et al.</i> , 2015
<i>Octopus vulgaris</i>	Péptido	Quimioattractante	Incrementa la movilidad del esperma.	De Lisa <i>et al.</i> , 2013
<i>Haliotis rubra</i>	Hidrolizado de vísceras	Sanguíneo	Actividad anti trombótico y anticoagulante	Suleria <i>et al.</i> , 2017
<i>Macra veneriformis</i>	Extracto crudo de polisacáridos	Sanguíneo	Anti-hiperglucémico	Wang <i>et al.</i> , 2011

Las principales bioactividades que se han demostrado de los compuestos obtenidos de moluscos, incluyen actividad antimicrobiana, anti-inflamatoria, anti-cancerígena, antioxidante, bioadhesiva y anti-hipertensiva (Balseiro *et al.*, 2011; Hong *et al.*, 2012; Joy *et al.*, 2016; Joy y Chakraborty, 2017; Kim *et al.*, 2016; Watanabe *et al.*, 2012)-

El análisis de los reportes de los últimos 10 años destaca las actividades osteogénicas, antimicrobiana y proliferativa de los compuestos bioactivos derivados de organismos marinos (Figura 2). A continuación, se les describe.

Actividad osteogénica

La osteogénesis es el proceso a través del cual ocurre la formación de tejido óseo, mediante la activación de

las células llamadas osteoblastos. Este proceso se lleva a cabo mediante dos mecanismos de osificación, la osificación intramembranosa y la endocondral. La osificación intramembranosa es el proceso mediante el cual se forman los huesos parietales, frontales, occipitales, temporal y los huesos viscerocráneo (mandíbula, maxilar superior, etc.), mientras que la endocondral



se encarga de la formación de cartílago a partir de tejido embrionario y su posterior osificación (Setiawati y Rahardjo, 2018).

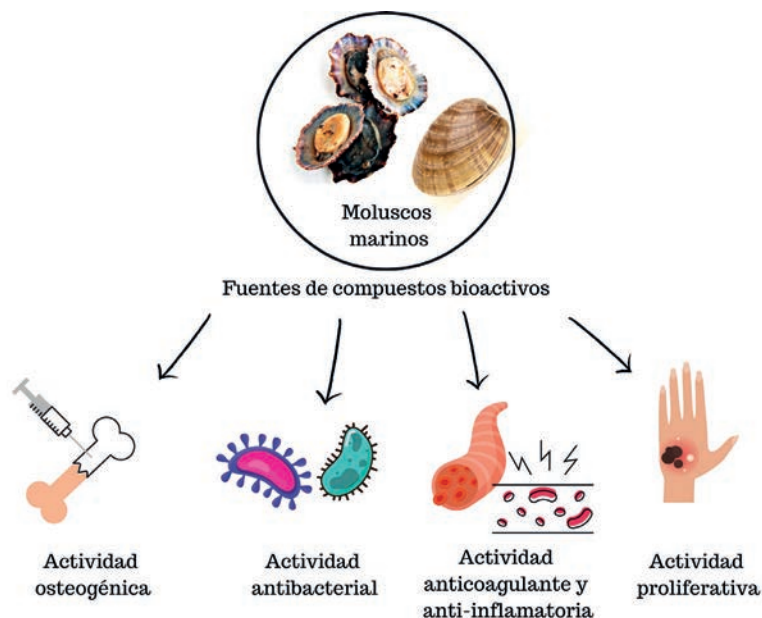


Figura 2. Actividades bioactivas de moluscos marinos. El esquema muestra cuatro bioactividades de compuestos bioactivos derivados de moluscos marinos, actividad osteogénica, actividad anticoagulante y anti-inflamatoria, y actividad proliferativa.

Existen varias enfermedades óseas en humanos que incluyen osteoporosis, debilidad de los huesos por problemas de baja densidad ósea; osteogénesis imperfecta, enfermedad hereditaria que hace que los huesos sean frágiles y quebradizos; la enfermedad de Paget que interrumpe el reemplazo de tejido ósea viejo por nuevo; y cáncer e infecciones en hueso (El-Gazzar y Hogler, 2021). Estas problemáticas han promovido la búsqueda en diferentes fuentes de compuestos bioactivos con actividad osteogénica.

Uno de los ejemplos de compuesto bioactivo osteogénico es el nácar, el cual es derivado de moluscos marinos y está formado por una matriz orgánica compuesta principalmente de proteínas. Esta matriz orgánica representa el 1% del total de la concha de moluscos (Lowenstam y Weiner, 1989).

La aplicación de la matriz orgánica en líneas celulares ha demostrado que es responsable de la activación de los osteoblastos (Chaturvedi *et al.*, 2013; Rousseau *et al.*, 2003; Rousseau *et al.*, 2008), permitiendo la reconstrucción de defectos maxilares (Atlan, 1999), sin embargo, aún se desconoce las proteínas responsables de la bioactividad.

El proceso de remodelación de hueso está dictado por dos tipos de células óseas, los osteocitos y los osteoclastos. Estas células son responsables de reemplazar cartílago por hueso, mediante la invasión de los osteoclastos, disolviendo el cartílago, para que los osteoblastos lo reemplacen por hueso. Este proceso está mediado por vías de señalización que incluyen al menos 24 genes, p. ej. JNK y Fra-1 (Mikan y Oliveros, 2007), los cuales se ha encontrado que pueden ser estimulados mediante el

nácar de algunos moluscos (Kim *et al.*, 2012) y por proteínas aisladas de la concha de ostiones como las proteínas gigasin-2 y cistatin A2 (Oliveira *et al.*, 2012).

Además del uso de proteínas aisladas de la concha de moluscos, se han observado resultados prometedores empleando extractos del sistema digestivo de abulón (*H. discus hanna*). Los extractos son capaces de incrementar la actividad de fosfatasa alcalina y los niveles de mineralización en líneas celulares de osteoblastos (Nguyen *et al.*, 2014). Estos resultados son comparables a los actuales tratamientos con compuestos activos como bifosfonatos (alendronato, risedronato, etidronato y zoledronato), los cuales son inhibidores de la resorción ósea mediante la disminución de los osteoclastos y estimulación de la apoptosis (Lewiecki, 2010).

El estudio de las proteínas de la concha de moluscos se ha intensificado en los últimos años por las propiedades que se les han descrito. Estas propiedades incluyen características mecánicas importantes (resistencia a fractura superior a la del hueso humano), actividad osteogénica y biocompatibilidad con las células de hueso humano, permitiendo la diferenciación de osteoblastos en cultivos celulares.

Péptidos con actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana es la capacidad que tiene un compuesto para inhibir el crecimiento de colonias microbianas, o para eliminarlas. Entre los compuestos bioactivos se incluyen a los péptidos antimicrobianos (AMPs), que existen en varios organismos incluyendo bacterias, hongos, animales y plantas (Jenssen *et al.*, 2006) y representan uno de los sistemas de defensa de organismos

multicelulares (Zhang y Gallo, 2016).

Los AMPs consisten en péptidos compuestos de 10 – 50 aminoácidos, en la mayoría de los casos, los AMPs tienen carga positiva (Zhang y Gallo, 2016). Los AMPs se han clasificado de acuerdo a la estructura secundaria de la proteína: alfa hélices; placas beta; y estructura extendida (Zaslloff, 2002; Zhang y Gallo, 2016). Éste último grupo, refiere a péptidos que no poseen una estructura secundaria definida, y por el contrario contienen un alto contenido de aminoácidos como histidina, arginina, glicina o triptófano (Zhang y Gallo, 2016).

La resistencia a antibióticos es uno de los diez problemas más graves para la salud pública a nivel mundial (OMS, 2019), lo que ha estimulado la búsqueda de AMPs de diferentes fuentes. Los invertebrados son una fuente importante de AMPs dado que no

tienen un sistema inmune adaptativo, donde linfocitos T y B atacan a los patógenos, y dependen casi exclusivamente del sistema inmune innato, donde células y proteínas especializadas (p. ej. AMPs) desarrollan una amplia actividad para destruir patógenos (Kumar *et al.*, 2017).

De los estudios más recientes de AMPs derivados de moluscos, se han descrito dos proteínas con potencial uso en la industria farmacéutica.

El primero, Myticin C, es un péptido aislado del mejillón del mediterráneo *M. galloprovincialis*, que ha demostrado que confiere protección contra dos tipos de virus en líneas celulares de peces (Balseiro *et al.*, 2011). Otros péptidos (14 y 45 kDa) obtenidos del músculo, tejido nervioso y riñón del gasterópodo marino *Melo melo*, han mostrado capacidad inhibitoria en cultivos de bacterias patógenas p. ej. *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella paratyphi*, *Proteus mirabilis*, *Vibrio parahemolyticus* y *Salmonella thyphi*, presentando máxima inhibición antifúngica contra *Trichophyton metagrophytes*, seguido de *Alternaria alternaria*, *Penicillium sp.*, *Epidermophyton floccosum*, *Aspergillus flavus* y *A. niger* (Sivasubramanian *et al.*, 2011).

También se ha descrito el papel de una subunidad de la proteína hemoglobina I de la almeja *Arca inflata*, que ha demostrado tener un amplio espectro antimicrobiano, incluyendo bacterias Gram (+) y Gram (-), empleando dosis de 37.5 a 300 µg/mL de la subunidad; esta subunidad es termoestable y resistente a pH, y por su conformación estructural, es capaz de permear en la membrana celular para ejercer su efecto (Li *et al.*, 2017).

En general los AMPs son capaces de eliminar directamente a los microorganismos, pero también pueden modular el sistema inmune al orquestar una acción anti-infecciosa local o sistémica, principalmente en organismos

con inmunidad adquirida.

Sin embargo, se requieren más estudios de los AMPs derivados de moluscos marinos para poder emplearlos en la industria farmacéutica.

Compuestos bioactivos con actividad anticoagulante, y anti-inflamatorio

Los compuestos bioactivos con actividad farmacológica con mayor interés en México son anticoagulantes, anti-hipertensivos y anti-inflamatorios, ya que en México se calcula que las enfermedades crónicas no transmisibles (p. ej. enfermedades cardiovasculares, cáncer, enfermedades respiratorias crónicas y diabetes) produjeron en 2005 más de 60% de las muertes en el País (Alcocer, 2009).

Esto ha propiciado una demanda anual de 5 kg de compuestos bioactivos (p. ej. anticancerígenos, antitumorales, etc.), lo que

representa un costo anual de 15 millones de pesos, de acuerdo a lo reportado por el I.M.S.S.

Los anticoagulantes son moléculas que se usan para prevenir la formación de masas semisólidas de sangre denominados coágulos, los cuales pueden viajar a través de las venas y bloquear el flujo sanguíneo, generando una trombosis. De los anticoagulantes derivados de moluscos marinos descritos en los últimos diez años, destacan un polímero de sulfato de heparán aislado de la almeja *N. nodosus* (Gomes *et al.*, 2010), el cual inhibe la formación de trombos durante el sangrado, mediante la actividad del factor XIIa, en dosis de 9.3 µg/mL.

La formación de coágulos en los organismos es controlada por una proteína denominada antitrombina III, la cual bloquea su formación, manteniendo un equilibrio entre el proceso de sangrado y la

coagulación. Sin embargo, existe una enfermedad congénita que provoca una deficiencia de esta proteína, provocando trombos. Las personas con esta condición requieren tratamiento farmacológico permanente (Yamaguchi *et al.*, 2017).

Un polisacárido similar al glicosaminoglicano aislado de los epipodios del abulón *H. discus hannai* ha mostrado ser capaz de potenciar la trombina por la antitrombina III, contribuyendo al proceso de regulación de sangrado y coagulación (Li *et al.*, 2011).

La inflamación es una respuesta del sistema inmunológico por efecto de traumatismos o enfermedades.

Su tratamiento es mediante la administración de fármacos que pueden ser anti-inflamatorios esteroideos y no esteroideos. Los fármacos esteroideos son hormonas naturales o sintéticas que actúan sobre las células inflamatorias (neutrófilos, mastocitos, etc.) a través de células de inmunidad celular (p. ej. IFN, citosinas, etc.). Por su parte, los fármacos no esteroideos actúan generalmente sobre receptores del sistema nervioso, por lo que tienen efecto analgésico (Vane y Botting, 1998).

Algunos de los compuestos esteroideos con capacidad anti-inflamatoria se han aislado de los moluscos marinos *P. malabrica* y *V. cyprinoides*, y son metoterpenos y esteroides que actúan inhibiendo la enzima que desencadena la respuesta inflamatoria en el organismo, la cicloxigenasa-2 (Joy *et al.*, 2017; Joy y Chakraborty, 2018).

Compuestos bioactivos con actividad celular proliferativa

La actividad proliferativa es la capacidad que tiene un compuesto de inducir el crecimiento de algún tipo de célula. La búsqueda de moléculas con actividad proliferativa

de diferentes fuentes ha incrementado en los últimos años, sobre todo porque los pacientes con quemaduras llegan a perder un 50-60% de su piel (Varkey *et al.*, 2015), provocando entre otras cosas, infecciones.

La cicatrización de una herida presenta tres eventos; el proceso de inflamación, donde se genera la coagulación e inicia la migración de neutrófilos y macrófagos, responsables de atacar cualquier infección y romper las células muertas, respectivamente. Posteriormente, inicia el proceso de proliferación para cerrar la herida, donde los fibroblastos (células del tejido conectivo) y el colágeno, funcionan como andamiaje para que inicie el crecimiento de células en la epidermis. Finalmente, en el proceso de remodelamiento, el colágeno se sintetiza en grandes cantidades por los fibroblastos y fortalece la zona de la herida, para posteriormente, reorganizar

la matriz de colágeno formando una cicatriz (Chandika *et al.*, 2015; Dehkordi *et al.*, 2019).

Se han descrito tres tipos de substitutos de tejidos, 1) terapias epidérmicas de células, donde se aplican células madre que permiten la renovación celular del lugar donde se aplican (diferenciación celular), manteniendo un número constante de células en áreas con células muertas; 2) andamios de dermis, está relacionado con el mantenimiento estructural de la piel, la cual puede ser revitalizada mediante la aplicación de células madres, fibroblastos o queratinocitos para promover la cicatrización; y 3) terapia epidérmica con andamios de dermis, donde se emplea el uso de células madres y factores que promuevan la cicatrización de una herida (Chandika *et al.*, 2015).

Se ha encontrado que los compuestos derivados de moluscos marinos son útiles para la regeneración de tejidos.

Por ejemplo, aminoácidos obtenidos de la almeja *R. venosa* y *M. galloprovincialis* han mostrado ser útiles como agentes terapéuticos en caso de quemaduras de piel, debido a la acción anti-inflamatoria de los aminoácidos leucina, lisina, treonina y prolina, además de estimular la regeneración de la epidermis (Badiu *et al.*, 2010). Así mismo, extractos de la concha de *M. edulis* y *C. gigas* promueven la destrucción de los fibroblastos de la piel de humano, el cual puede servir como tratamiento para la esclerodermia (endurecimiento y estiramiento del tejido conectivo) (Latire *et al.*, 2017).

Si bien los estudios de compuestos bioactivos derivados de moluscos para la regeneración de tejidos son limitados, estos ejemplos permiten vislumbrar el potencial de estas, e incentiva su estudio para contribuir en el campo de ingeniería de tejidos. Esta área tiene como objetivo obtener propiedades arquitectónicas, biológicas y mecánicas

apropiadas para promover el comportamiento celular, tal como se encuentra originalmente en el sitio nativo.

Productos comerciales o en fase clínica

Actualmente, solo existen seis compuestos derivados de organismos marinos con actividad farmacológica que han obtenido la probación por la FDA (Ghareeb *et al.*, 2020).

De estos compuestos, sólo tres son derivados de moluscos marinos; sin embargo, existen al menos diez compuestos de moluscos marinos que se encuentran en fase clínica I, II o III (Tabla 2).

Tabla 2. Compuestos bioactivos con uso farmacéutico derivados de moluscos marinos.

Estatus clínico	Fuente	Nombre del compuesto	Clase de compuesto	Nombre comercial	Compañía	Uso	Referencia
Aprobado por la FDA	<i>Conus magus</i>	Ziconotide	Péptido	Prialt®	Elan Corporation	Analgésico	Pope y Deer, 2013; Pope <i>et al.</i> , 2017
Aprobado por la FDA	<i>Dolabella auricularia</i>	Brentuximab Vedotin ó Dolastatin 10	Péptido	Adcetris®	PharmaMar	Anti-cancerígeno	Katz <i>et al.</i> , 2011
Aprobado por la FDA	<i>Megathura crenulata</i>	Hemocyanin	Proteína	Immucothel®	Biosyn Corporation Company	Anti-tumoral	Echarti <i>et al.</i> , 2000
Fase I	<i>Elysia rufescens</i>	Kahalalide F	Depsipéptido	Kahalalide F®	PharmaMar	Anti-cancerígeno	Martin-Algarra <i>et al.</i> , 2009
Fase I	<i>Elysia rufescens</i>	Elisidepsin (PM02734)	Depsipéptido	Irvalec®	PharmaMar	Anti-tumoral	Ratain <i>et al.</i> , 2015
Fase I	<i>Conus geographus</i>	Conotoxin G (CGX-1160)	Péptido	NA	Cognetix	Analgésico	Ghareeb <i>et al.</i> , 2020
Fase I	<i>Spisula polynyma</i>	Spisulosine	Amino alcohol	NA	PharmaMar	Anti-cancerígeno	Cuadros <i>et al.</i> , 2000
Fase I	<i>Joruna funebris</i>	PM00104	Alcaloide	Zalypsis®	PharmaMar	Anti-tumoral	Scott y Williams, 2002
Fase II	<i>Haplochlarea maculosa</i>	Tetrodotoxin (TTX)	Alcaloide	TTX	Canadian WEX Pharmaceuticals Inc.	Anti-tumoral	Ghareeb <i>et al.</i> , 2020
Fase II	<i>Dolabella auricularia</i>	Glembatumumab Vedotin (CDX-011 ó CR011-vcMMAE)	Péptido	NA	Seattle Genetics	Anti-cancerígeno	Vaklavas y Forero, 2014
Fase II	<i>Dolabella auricularia</i>	Soblidotin (TZT-1027)	Péptido	NA	NA	Anti-cancerígeno	Patel <i>et al.</i> , 2006
Fase II	<i>Conus magus</i>	XEN-2174	Péptido	NA	Xenome	Analgésico	Newman y Cragg, 2014
Fase III	<i>Dolabella auricularia</i>	Tasidotin	Depsipéptido	NA	NA	Anti-tumoral	Mayer <i>et al.</i> , 2010

NA: No aplica

Los compuestos aprobados o en fase clínica pertenecen principalmente a moluscos gasterópodos, y son de naturaleza proteica, a excepción de PM00104 y tetrodotoxin, ambos alcaloides obtenidos de una babosa de mar y un pulpo, respectivamente. Sólo un compuesto en fase clínica no pertenece a un gasterópodo, es un amino alcohol y fue aislado de un bivalvo. Las propiedades bioactivas que presentan estos compuestos incluyen analgésico, anti-cancerígeno y anti-tumoral.

Al momento, sólo tres compuestos derivados de gasterópodos marinos han sido aprobados por la FDA para su uso farmacológico. El compuesto Brentuximab vedotin o conocido comercialmente por Adcetris®, el cual es un conjugado de un anticuerpo con un fármaco obtenido de una babosa de mar (*D. auricularia*) (Katz *et al.*, 2011), fue aprobado en 2011 por la FDA para el tratamiento de

linfoma de Hodgkin (Senter y Sievers, 2012).

La hemocianina de la lapa del Océano Pacífico (*Megathura crenulata*), conocida comercialmente como Immucothel®, es una proteína con 20 subunidades; las subunidades disociadas son empleadas para el tratamiento de carcinoma en humanos (Echarti *et al.*, 2000).

El compuesto Ziconotide, o también conocido por su nombre comercial Prialt® es un análogo del péptido α -conotoxina de un caracol marino (*C. magus*) (Pope *et al.*, 2017). El análogo fue aprobado por la FDA en 2004 como analgésico para dolor severo, ya que actúa bloqueando los canales de calcio, inhibiendo la liberación de neurotransmisores en médula y cerebro, aliviando el dolor (Roca-Lapirot *et al.*, 2018).

A pesar de los esfuerzos que se han realizado en la búsqueda de compuestos bioactivos derivados de moluscos marinos, son pocos los reportes con estudios preclínicos o de laboratorio, como estudios celulares y estudios en animales, que proporcionen información útil sobre su funcionamiento.

Hay cuatro fases clínicas antes de que un compuesto sea aprobado por la FDA para su uso comercial. Fase 0: exploración sobre si funciona y cómo funciona un nuevo compuesto; en esta fase se aplican dosis pequeñas del compuesto nuevo a pocas personas; Fase I: donde se establece la seguridad del compuesto; en esta fase se incluye a un número mayor de voluntarios y se determina la dosis más alta que sea segura; Fase II: evalúa la eficacia del tratamiento en voluntarios con el padecimiento a tratar; Fase III: donde se compara la seguridad y eficacia del nuevo compuesto respecto al tratamiento actual; en esta fase se puede solicitar la aprobación para uso y, Fase IV: incluye el seguimiento del nuevo compuesto en uso (FDA, 2019).

El proceso de aprobación de un nuevo compuesto, desde

su estudio en el laboratorio, desarrollo de las fases clínicas hasta la aprobación por la FDA puede llevar entre 12 a 15 años (DiMasi *et al.*, 2016). Lo anterior implica que los nuevos compuestos descritos para moluscos marinos en recientes años, requerirán un estudio exhaustivo en el laboratorio para poder ser susceptibles a estudios clínicos por las instancias regulatorias correspondientes, lo cual requiere tiempo, financiamiento constante y personal capacitado.

Perspectivas y consideraciones finales

El estudio de moluscos marinos es atractivo para muchas disciplinas debido a la complejidad de sus características biológicas que contribuyen a su éxito de colonización en diferentes nichos ecológicos, tales como manglares, profundidades oceánicas y ventilas hidrotermales. Aunado a esto, son capaces de sintetizar una amplia diversidad de compuestos, en estructura y función, que les permiten sobrevivir en sus ambientes y defenderse de sus depredadores.

Los compuestos que sintetizan los moluscos presentan una amplia variedad de bioactividades (p. ej. anti-inflamatoria, anti-fúngica, etc.) que se ha demostrado son comparables con compuestos de organismos terrestres, e incluso de fármacos comerciales. Algunos de ellos, principalmente de gasterópodos, se encuentren aprobados por la FDA o bien se encuentren en fase clínica I/II. Sin embargo, una gran proporción de los estudios realizados en moluscos solo describen moléculas con alguna bioactividad, pero no existe un seguimiento de los mismos, que permita aplicar los compuestos bioactivos en la industria.

Es necesario enfocar los esfuerzos en identificar especies modelo que habiten en nichos ecológicos extremos, para identificar compuestos bioactivos potenciales que sean

comparables o mejores a los fármacos empleados actualmente en la industria farmacológica. Los compuestos bioactivos de naturaleza proteica, se pueden identificar *in silico* mediante análisis bioinformático de los genomas disponibles (bioprospección), para posteriormente diseñar estrategias adecuadas de extracción y aislamiento.

Además, se requiere estudiar la relación de la estructura y la actividad de los compuestos, pero no solo entender la relación de la estructura-función, sino ser capaces de producir análogos con una mayor bioactividad o selectividad. Esto se puede realizar mediante estudios *in silico* como docking, el cual es un análisis computacional que permite simular interacciones entre moléculas, y se emplea para estudiar la interacción entre fármacos con su ligando.

Otras biomoléculas como lípidos y metabolitos secundarios se pueden identificar y caracterizar mediante estudios lipidómicos y metabolómicos, los cuales son mapeos de los lípidos y metabolitos (productos intermedios y productos del metabolismo) presentes en cualquier tejido y/o organismo, que pueden presentar una actividad bioactiva. Estos estudios pueden ser dirigidos, buscando un compuesto blanco o bien, no dirigidos, para la búsqueda de potenciales bioactivos desconocidos, mismos que puedan ser utilizados en la industria p. ej. alimentaria, farmacéutica, etc.

Finalmente, un paso importante que requiere la investigación, es la vinculación con el sector industrial, el cual puede contribuir a la investigación, producción, desarrollo, escalamiento y aplicación del compuesto bioactivo para que llegue a la sociedad (Figura 3).

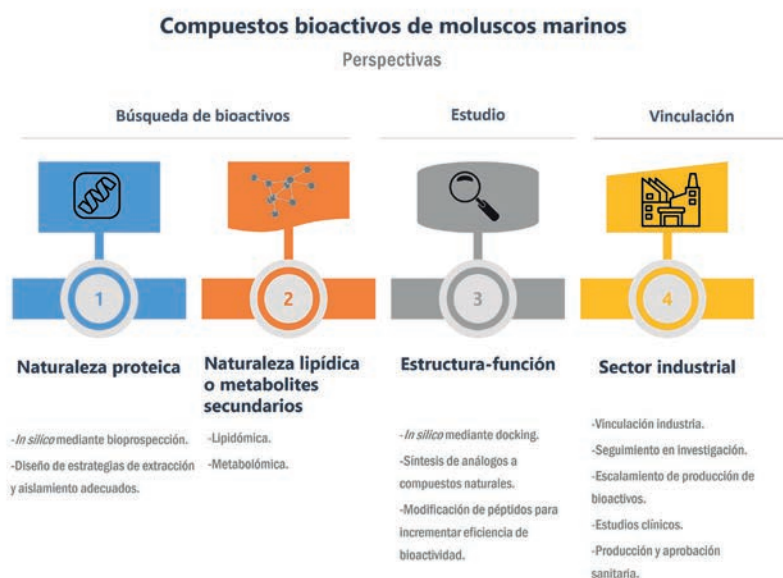


Figura 3. Perspectivas de estudio de compuestos bioactivos de organismos marinos.

Agradecimientos

Al DG. Gerardo Hernandez por el Diseño Gráfico Editorial para este artículo

Literatura citada

Ajithkumar, P., N.S. Jeganathan, K. Balamurugan y K. Radha. 2012. *Evaluation of hepato-protective activity of Villorita cyrpinoides extract (Black water clams) against paracetamol-induced hepatic injury in albino rats*. International Journal of Pharmacy and Biological Science 2 (2): 123-127.

- Alcocer, L. 2009. *Diseño de estrategias para disminuir los daños a la salud asociados a hipertensión arterial*. Gaceta Médica de México 4 (145): 299-303.
- Ahmad, T.B., D. Rudd, K. Benkendorff, L.K. Mahdi, K.-A. Pratt, L. Dooley, C. Wei y M. Kotiw. 2018. *Brominated indoles from a marine mollusc inhibit inflammation in a murine model of acute lung injury*. PLoS ONE 12(10): e0186904.
- Anand, P., A. Grigoryan, M.H. Bhuiyan, B. Ueberheide, V. Russell, J. Quinonez, P. Moy, B.T. Chait, S.F. Poget y M. Holford. 2014. *Sample limited characterization of a novel disulfide-rich venom peptide toxin from terebrid marine snail Terebra variegata*. PLoS ONE 9: e94122.
- Armishaw, C.J. 2010. *Synthetic α -conotoxin mutants as probes for studying nicotinic acetylcholine receptors and in the development of novel drug lead*. Toxins 2 (6): 1471:1499.
- Atlan, G. 1999. *Interface between bone and nacre implants in sheep*. Biomaterials 20 (11): 1017–1022.
- Badiu, D.L., R. Luque, E. Dumitrescu, A. Craciun y D. Dinca. 2010. *Amino acids from Mytilus galloprovincialis (L.) and Rapana venosa molluscs accelerate skin wounds healing via enhancement of dermal and epidermal neoformation*. Protein Journal 29 (2): 81-92.
- Balseiro, P., A. Falco, A. Romero, S. Dios, A. Martinez-Lopez, A. Figueras, A. Estepa y B. Novoa. 2011. *Mytilus galloprovincialis myticin C: A chemotactic molecule with antiviral activity and immunoregulatory properties*. PLoS ONE, 6: e23140.
- Benkendorff, K., D. Rudd, B. D. Nongmaithem, L. Liu, F. Young, V. Edwards, C. Avila y C. A. Abbott. 2015. *Are traditional medical uses of muricidae molluscs substantiated by their pharmacological properties and bioactive compounds?*. Marine Drugs 13(8): 5237-5275.
- Bouchet, P. y C. M. Duarte. 2006. *The exploration of marine biodiversity: Scientific and technological challenges*. Fundación BBVA 33: 1–34.
- Carbonell-Capella, J.M., M. Buniowska, F.J. Barba, M.J. Esteve y A. Frígola. 2014. *Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 13 (2):155-171.
- Casas, S. M., P. Comesana, A. Cao y A. Villalba. 2011. *Comparison of antibacterial activity in the hemolymph of marine bivalves from Galicia (NW Spain)*. Journal of Invertebrate Pathology 106 (2): 343–345.

- Chandika, P., S.-C. Ko y W.-K. Jung. 2015. *Marine-derived biological macromolecule-based biomaterials for wound healing and skin tissue regeneration*. International Journal of Biological Macromolecules 77:24-35.
- Chakraborty K. y M. Joy. 2020. *High-value compounds from the molluscs of marine and estuarine ecosystems as prospective functional food ingredients: An overview*. Food Research International 137: 1-37.
- Chaturvedi, R., P.K. Singha y S. Dey. 2013. *Water soluble bioactives of nacre mediate antioxidant activity and osteoblast differentiation*. PLoS One 8:e84584.
- Chellaram, C. 2014. *Isolation of bioactive compounds from marine mollusk against human pathogens*. International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR).
- Costa-Lotufo, L.V., D.V. Wilke, P.C. Jimenez y R.A. Epifanio. 2009. Organismos marinos como fontes de novos fármacos e perspectivas. Química 32: 703-716.
- Cuadros, R., E. Montejó de Garcini, F. Wandosell, G. Faircloth, J.M. Fernández-Sousa y J. Avila. 2000. *The marine compound spiculoline and inhibitor of cell proliferation promotes the disassembly of actin stress fibres*. Cancer Letters 152(1): 23-29.
- De Lisa, E., A.M. Salzano, F. Moccia, A. Scaloni y A. di Cosmo. 2013. *Sperm-attractant peptide influences the spermatozoa swimming behavior in internal fertilization in octopus vulgaris*. Journal of Experimental Biology 216: 2229–2237.
- Dehkordi, A.N., F.M. Babaheydari, M. Chehelgerdi y S.R. Dehkordi. 2019. *Skin tissue engineering: wound healing based on stem-cell-based therapeutic strategies*. Stem Cell Research and Therapy 10 (111).
- DiMasi, J.A., H.G. Grabowski y R.W. Hansen. 2016. *Innovation in the pharmaceutical industry: New estimates of R&D costs*. Journal of Health Economics 47: 20-33.
- Echarti, C., C.D. Jurincic-Winkler y K.F. Klippel. 2000. *Efficacy of prophylactic with conventional drugs to prevent recurrence of superficial bladder carcinoma*. European Urology 37(3): 50-53.
- El-Gazzar, A. y W. Hogler. 2021. *Mechanisms of bone fragility: from osteogenesis imperfecta to secondary osteoporosis*. International Journal of Molecular Sciences 22, 625.
- FDA. 2019. Development and approval process: Drugs. En: <https://www.fda.gov/drugs/development-approval-process-drugs> (Consultado el 27 de Mayo de 2021).

- Ghareeb, M.A., M.A. Tammam, A. El-Demerdash y A.G. Atanasov. 2020. *Insights about clinically approved and preclinically investigated marine natural products*. Current Research in Biotechnology 2: 88-102.
- Gomes, A.M., E.O. Kozłowski, V.H. Pomin, C.M. de Barros, J. L. Zaganeli y M.S.G. Pavao. 2010. *Unique extracellular matrix heparin sulfate from the bivalve Nodipecten nodosus (Linnaeus, 1758) safely inhibits arterial thrombosis after photochemically induced endothelial lesion*. The Journal of Biological Chemistry 285 (10):7312-7323.
- Gerwick, W.H. y B.S. Moore. 2012. *Lessons from the past and charting the future of marine natural products drug discovery and chemical biology*. Chemical Biology, 19 (1): 85-98.
- Guzmán, B., E. Juárez Hernández, E. Sieiro Ortega, R. Romero Viruegas y J.L. Silencio Barrita. 2009. *Los nutraceuticos. Lo que es conveniente saber*. Revista Mexicana de Pediatría. 76 (3): 136-145.
- Hamed, I., F. Ozogul, Y. Ozogul y J.M. Regenstein. 2015. *Marine bioactive compounds and their health benefits: A review*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 14 (4): 446-465.
- Hasnat, M.A., M. Pervin, D.H. Kim, Y.J. Kim, J.J. Lee, H.J. Pyo, C.W. Lee y B.O. Lim. 2015. *DNA protection and antioxidant and anti-inflammatory activities of water extract and fermented hydrolysate of abalone (Haliotis discus hannai Ino)*. Food Science and Biotechnology 24: 689-697.
- Hong, J.M., B.J. Kim, J.H. Shim, K.S. Kang, K.J. Kim, J.W. Rhie, H.J. Cha y D.W. Cho. 2012. *Enhancement of bone regeneration through facile surface functionalization of solid freeform fabrication-based three-dimensional scaffolds using mussel adhesive proteins*. Acta of Biomaterials 8, (7): 2578-2586.
- Huang, F., S. Zhao, F. Yu, Z. Yang y G. Ding. 2017. *Protective effects and mechanism of Meretrix meretrix oligopeptides against noalcoholic fatty liver disease*. Marine Drugs 15, (31): 1-13.
- Jenssen H., P. Hamill y R.E. Hancock. 2006. *Peptide antimicrobial agents*. Clinical Microbiology Reviews 19 (3): 491-511.
- Joy, M. y K. Chakraborty. 2018. *Previously undisclosed bioactive sterols from corbiculid bivalve clam Villorita cyprinoides with anti-inflammatory and antioxidant potentials*. Steroids 135 :1-8.

- Joy M., y K. Chakraborty. 2017. *First report of two new antioxidative meroterpeno 2H-pyrans from short-necked yellow-foot clam Paphia malabarica (family: Veneridae) with bioactivity against pro-inflammatory cyclooxygenases and lipoxygenase*. Natural Products Research 31 (6): 615-625.
- Joy M., K. Chakraborty y V. Pananghat. 2016. *Comparative bioactive properties of bivalve clams against different disease molecular targets*. Journal of Food Biochemistry 40 (4): 1-10.
- Katz, J., J.E. Janik y A. Younes. 2011. *Brentuximab Vedotin (SGN-35)*. Clinical Cancer Research 17 (20): 6428-6436.
- Kim, E.-K., Y.-S. Kim, S.-J. Lee, Y.-J. Jeon, C.-B. Ahn, Y.-T. Kim, H. Kang, J.-H. Jeong, S.-H. Moon, B.-T. Jeon y P.-J. Park. 2011. *Effect of partially purified lipid from the mussel Mytilus coruscus on apoptosis in cancer cells*. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry 54: 59-65.
- Kim, H., K. Lee, C.-Y. Ko, H.-S. Kim, H.-I. Shin, T. Kim, S. H. Lee y D. Jeong. 2012. *The role of nacreous factors in preventing osteoporotic bone loss through both osteoblast activation and osteoclast inactivation*. Biomaterials 33 (30):7489-7496.
- Kim, N.-H., C.-W. Kang, M.-S. Park, C.-W. Oh, Y.B. Seo, J.K. Lee, J.-M. Kim, H.K. Lim y G.-D. Kim. 2016. *A novel peptide derived from Haliotis discus hannai inhibits the migration of MKN-28 gastric cancer cells through downregulation of α -catenin signaling*. Journal of Shellfish Research 35 (3): 669-675.
- Kiran, N., G. Siddiqui, A.N. Khan, K. Ibrar y P. Tushar. 2014. *Extraction and screening of bioactive compounds with antimicrobial properties from selected species of mollusk and crustacean*. Clinical and Cellular Immunology 5 :1-5.
- Kitts, D. y K. Weiler. 2003. *Bioactive proteins and peptides from food sources. Applications of bioprocesses used in isolation and recovery*. Current Pharmaceutical Design 9(16): 1309-1323.
- Kumar, D.S., Janakiram P., M.M. Krishna Kumar y G.K. Geetha. 2017. *Inhibitory activity of bioactive compounds isolated from Anadara granosa in shrimp health management*. World Journal of Microbiology and Biotechnology 33 (207): 207-213.
- Mikan, J.F. y W.D. Oliveros. 2007. *Osteoclastogénesis y enfermedades óseas*. Revista Med 15 (2): 261-270.

- Latire, T., F. Legendre, M. Bouyouncef, F. Marin, F. Carreiras, M. Rigot-Jolivet, J.-M. Lebel, P. Lee, C., W. Chu, R. Zhao, Y.D. Kim, M.M. Nam, D.H. Jung, I.J. Cho, K.H. Jegal, T.H. Lee, Y.W. Kim, S.M. Park, S.A. Ju, C.W. Lee, S.C. Kim y W.G. An. 2017. *Anticancer effects of an extract from the scallop *Patinopecten yessoensis* on MCF-human breast carcinoma cells*. Oncology Letters 14 (2): 2207-2217.
- Lewiecki, E.M. 2010. *Biphosphonates for the treatment of osteoporosis: insights for clinicians*. Therapeutic Advances in Chronic Disease 1 (3): 115-128.
- Li, G., S. Chen, Y. Wang, Y. Xue, Y. Chang, Z. Li, J. Wang y C. Xue. 2011. *A novel glycosaminoglycan-like polysaccharide from abalone *Haliotis discus hannai* Ino: Purification, tructure identification and anticoagulant activity*. International Journal of Biological Macromolecules 49 (5) :1160-1166.
- Li, C., J. Zhu, Y. Wang, Y. Chen, L. Song, W. Zheng, J. Li y R. Yu. 2017. *Antibacterial activity of Al-Hemocidin 2, a novel N-terminal peptide of hemoglobin purified from *Arca inflata**. Marine Drugs 15 (7): 1-17.
- Lowenstam, H.A. y S. Weiner. 1989. *On biomineralization*. New York: Oxford University Press.
- Martin-Algarra, S., E. Espinosa, J. Rubio, J.J. Lopez, J.L. Manzano, L.A. Carrion, A. Plazaola, A. Mayer, A.M., K.B. Glaser, C. Cuevas, R.S. Jacobs, W. Kem, R.D. Little, J.M. McIntosh, D.J. Newman, B.C. Potts y D.E. Shuster. 2010. *The odyssey of marine pharmaceuticals: A current pipeline perspective*. Trends in Pharmacology Science 31 (6): 255–265.
- McPhee, S., L.D. Hodges, P.F. Wright, P.M. Wynne, N. Kalafatis, N. y T.A. Macrides. 2010. *Prophylactic and therapeutic effects of *Mytilus edulis* fatty acids on adjuvant-induced arthritis in male Wistar rats*. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids 82 (2-3): 97–103.
- Newman, D.J. y G.M. Cragg. 2014. *Marine-sourced anti-cancer and cancer pain control agents in clinical and late preclinical development*. Marine Drugs 12 (1): 255–278.
- Nguyen, M.H.T., Z.-J. Qian y W.-K. Jung. 2014. *Beneficial effect of abalone intestine gastro-intestinal digests on osteoblastic MG-63 cell differentiation*. Journal of Aquatic Food Production and Technology 23 (5): 436–446.
- Odeleye, T., W.L. White y J. Lu. 2019. *Extraction techniques and potential health benefits of bioactive compounds from marine molluscs: A review*. Food and Function. 10(5): 2278-2289.

- Oliveira, D. V., T.S. Silva, O.D. Cordeiro, S.I. Cavaco y D. C. Simes. 2012. *Identification of proteins with potential osteogenic activity present in the water-soluble matrix proteins from Crassostrea gigas nacre using a proteomic approach*. The Scientific World Journal 2012: 1-9.
- Organización Mundial de la Salud. 2019. *Global action plan on antimicrobial resistance*. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/global-action-plan-on-antimicrobial-resistance>
- Patel, S., M.L. Keohan, M.W. Saif, D. Rushing, L. Baez, K. Feit, R. Delager y S. Anderson. 2006. S. *Phase II study of intravenous TZT-1027 in patients with advanced or metastatic soft-tissue sarcomas with prior exposure to anthracycline-based chemotherapy*. Cancer 107 (12): 2881–2887.
- Pechenik, J.A. 2000. *Biology of the invertebrates*. 4th Edition McGraw Hill, New York. 606 pp.
- Ponce G., X.P. 2015. *Estudio del potencial bioactivo de las vísceras de abulón utilizando un modelo de digestión gastrointestinal in vitro*. Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., México, 90 pp.
- Pope, J.E. y T.R. Deer. 2013. *Ziconotide: A clinical update and pharmacologic review*. Expert Opinion of Pharmacotherapy 14 (7): 957–966.
- Pope, J.E., T.R. Deer, K. Amirdelfan, W.P. McRoberts y N. Azeem. 2017. *The pharmacology of spinal opioids and ziconotide for the treatment of non-cancer pain*. Current Neuropharmacology 15(2): 206-216.
- Ratain, M.J., D. Geary, S.D. Undevia, C. Coronado, V. Alfaro, J.L. Iglesias, R.L. Schilsky y B. Miguel-Lillo. 2015. *First-in-human, phase I study of elisidepsin (PM02734) administered as a 30-min or as a 3-hour intravenous infusion every three weeks in patients with advanced solid tumors*. Investigation of New Drugs 33: 901–910.
- Roca-Lapirot, O., H. Radwani, F. Aby, F. Nagy, M. Landry y P. Fossat. 2018. *Calcium signaling through L-type calcium channels: role in pathophysiology of spinal nociceptive transmission*. British Journal of Pharmacology 175(12): 2362-2374.
- Rousseau, M., L. Pereira-Mouries, M.J. Almeida, C. Milet y E. Lopez. 2003. *The water-soluble matrix fraction from the nacre of Pinctada maxima produces earlier mineralization of MC3T3-E1 mouse pre-osteoblast*. Comparative Biochemistry and Physiology Part B. Molecular Biology 135: 1-7.

- Rousseau, M., H. Boulzaguet, J. Biagianti, D. Duplat, C. Milet, E. Lopez y L. Bedouet. 2008. *Low molecular weight molecules of oyster nacre induce mineralization of the MC3T3-E1 cells*. Journal of Biomedical Materials and Research 85: 487-497.
- Ruppert, E.E. y R.D. Barnes. 1996. *Zoología de los invertebrados*. 6ta edición. McGraw-Hill Interamericana, México, 365 pp.
- Scott, J.D. y R.M. Williams. 2002. *Chemistry and biology of the tetrahydroisoquinoline antitumor antibiotics*. Chemical Reviews, 102(5), 1669-1730.
- Senter, P.D. y E.L. Sievers. 2012. *The Discovery and development of Brentuximab vedotin for use in relapsed Hodgkin lymphoma and systemic anaplastic large cell lymphoma*. Nature Biotechnology 30: 631-637.
- Septembre-Malaterre, A., F. Remize y P. Pucheret. 2018. *Fruits and vegetables, as source of nutritional compounds and phytochemicals: Changes in bioactive compounds during lactic fermentation*. Food Research International 104: 86-99.
- Setiawati, R. y P. Rahardjo. 2018. *Bone development and growth, osteogenesis and bone regeneration*. IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.82452.
- Siriwardhana, N., N.S. Kalupahana, M. Cekanova, M. LeMieux, B. Greer, y N. Moustaid-Moussa. 2013. *Modulation of adipose tissue inflammation by bioactive food compounds*. Journal of Nutritional Biochemistry 24 (4): 613-623.
- Sivasubramanian, K., S. Ravichandran y M. Kumaresan. 2011. *Preliminary studies for a new antibiotic from the marine mollusk Melo melo (Lightfoot, 1786)*. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine 4 (4): 310-314.
- Suleria, H.A.R., P.P. Masci, R. Addepalli, W.Chen, G.C. Cobe y S.A. Osborne. 2017. *In vitro anti-thrombotic and anti-coagulant properties of blacklip abalone (Haliotis rubra) viscera hydrolysate*. Analytical and Bioanalytical Chemistry 409 (17):4195-4205.
- Vane, J.R. y R.M. Botting. 1998. *Anti-inflammatory drugs and their mechanism of action*. Inflammation Research 47, 78-87.
- Vaklavas, C. y A. Forero. 2014. *Management of metastatic breast cancer with second-generation antibody-drug conjugates: Focus on glembatumumab vedotin (CDX-011, CR011-vcMMAE)*. BioDrugs 28 (3): 253–263.
- Varkey, M., J. Ding, E.E. Tredget. 2015. *Advances in skin substitutes – potential of tissue engineered skin for facilitating anti-fibrotic healing*. Journal of Functional Biomaterials 6 (3): 547-563.

- Wang, L., H. Wu, N. Chang y K. Zhang. 2011. *Anti-hyperglycemic effect of the polysaccharide fraction isolated from *Macrura veneriformis**. *Frontiers of Chemical Science and Engineering* 5 (2):238-244.
- Watanabe, M., F. Hirotsuchi, S. Jin, T. Sakurai, F. Ohkawa, S.-P. Hui, S. Takeda, T. Watanabe, T. Koike y H. Chiba. 2012. *Isolation and characterization of a phenolic antioxidant from the pacific oyster (*Crassostrea gigas*)*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60 (3):830-835.
- Wickramaarachchi, W.D., M. De Zoysa, I. Whang, Q. Wan y J. Lee. 2013. *Kazal-type proteinase inhibitor from disk abalone (*Haliotis discus discus*): Molecular characterization and transcriptional response upon immune stimulation*. *Fish Shellfish Immunology* 35 (3): 1039–1043.
- Yamaguchi, J., N. Hara, T. Yamaguchi, Y. Nagata, T. Nozato y T. Miyamoto. 2017. *Successful treatment of a massive pulmonary embolism using rivaroxaban in a patient with antithrombin III deficiency*. *Journal of Cardiology Cases* 16 (5): 144-147.
- Zhang, L. y R.L. Gallo. 2016. *Antimicrobial peptides*. *Current Biology* 26 (1): 14-19.
- Zaslloff, M. 2002. *Antimicrobial peptides of multicellular organisms*. *Nature* 415 (6870):389-395.
- Zeb, M. y C.H. Lee. 2021. *Medicinal properties and bioactive compounds from wild mushrooms native to North America*. *Molecules* 26 (2):251.

CITA DE ARTÍCULO:

Rivera Pérez C., y N.Y. Hernández Saavedra. 2021. Compuestos bioactivos derivados de moluscos marinos. *Recursos Naturales y Sociedad*, 2021. Vol. 7 (2): 61-84. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0005>

Sometido: 15 de abril de 2021

Revisado: 14 de junio de 2021

Aceptado: 11 de julio de 2021

Editora asociada: Dra. Blondy Canto Canché

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández



Mandalas naturales

Tricodínidos asociados a peces y su diversidad en México

Natural mandalas: Trichodinids associated with fish and their diversity in Mexico

Resumen

Los protozoos ciliados de la familia Trichodinidae son ectosimbiontes asociados a peces y otros animales acuáticos (anfibios, cnidarios, moluscos, crustáceos y otros artrópodos acuáticos) en todos los ambientes marinos y dulceacuícolas del mundo, con excepción de la Antártida. Forman un grupo

diverso que, sin embargo, es relativamente desconocido a pesar de que pueden generar efectos negativos en especies acuáticas de cultivo y de cuerpos de agua naturales. Por ser escasamente estudiados, actualmente se desconocen diversos aspectos de su historia natural como su verdadera diversidad o los factores que modelan su distribución geográfica. En México su registro ha sido escaso, sin embargo, en una reciente línea de investigación nos hemos propuesto abordar el estudio del grupo para incrementar el conocimiento de las especies que habitan en los ambientes acuáticos del país, abordando aspectos de biología molecular y de morfometría geométrica en relación con la delimitación específica.

Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 85-100. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0005>

Alma Gabriela Islas-Ortega¹ y Rogelio Aguilar-Aguilar²

¹Posgrado en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, UNAM, Circuito Exterior s/n, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad Universitaria, México, alisor.721@gmail.com

²Departamento de Biología Comparada, Facultad de Ciencias, UNAM, Circuito Exterior s/n, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad Universitaria, México, raguilar@ciencias.unam.mx

Palabras clave: Ciliophora, Trichodinidae, biodiversidad.

Abstract

Members of the family Trichodinidae are ectosymbiotic protozoan ciliates associated with fishes and other aquatic animals (amphibians, cnidarians, mollusks, crustaceans, and other aquatic arthropods) in all marine and freshwater environments of the world, except for Antarctica. Trichodinids constitute a diverse but few known group, however, they may produce a series of negative effects in cultured aquatic species used in aquaculture and species of natural waters. Because of the lack of studies, some aspects of their natural history such as the actual number of species or those factors modeling the geographic distribution remain uncertain. There are very few reports for trichodinid species in Mexico, however, we recently have started a research field aimed to increase the knowledge about trichodinid species inhabiting Mexican aquatic environments, including DNA based studies and morphometric delimitation among species.

Key words: Ciliophora, Trichodinidae, biodiversity.

Introducción

Entre la diversidad de organismos que habitan los sistemas acuáticos existe un conjunto que es invisible al ojo humano y que, sin embargo, está constituido por múltiples especies que adoptan una gran diversidad de formas y estilos de vida. Entre ellos se encuentran los protozoos tricodínidos que son organismos unicelulares que destacan por su belleza singular que permanece oculta por su tamaño microscópico y por vivir asociados como ectosimbiontes a organismos acuáticos. Los tricodínidos son una familia de protozoos ciliados. Son organismos que en una sola célula realizan

todas las funciones y procesos necesarios para su existencia y cuya superficie celular está rodeada de cilios que son proyecciones con movilidad que les permiten desplazarse y conseguir alimento. Si bien, muchos tipos de ciliados son conocidos por que se les encuentra frecuentemente al observar una gota de agua con un microscopio (por ejemplo, el famoso protozoo ciliado del género *Paramecium*), a los tricodínidos únicamente se les puede encontrar cuando se hace un análisis microscópico de la superficie de algunos animales acuáticos como los peces.

Los tricodínidos varían en tamaño de 20 a 100 μm (Van As y Basson, 1987); tienen una forma cónica, redondeada o hemisférica y están cubiertos con una membrana delgada y tienen una estructura típica en la región aboral (es decir, la que está en contacto con el animal que sirve de

hospedero) conocida como disco adhesivo, el cual se compone de dentículos (de 15 – 60 dependiendo de la especie) y membranas estriadas (Basson y Van As, 1995; Basson y Van As, 2006) (Fig. 1A-B). Los dentículos son estructuras proteínicas, que se conectan con las membranas estriadas por medio de microfibrillas y se conforman de cuchilla, parte central y rayo (Fig. 1D). Las cuchillas pueden ser rectas o curvas (Fig. 1E), mientras que los rayos pueden ser en forma de barra, de espina, de aguja o de remo y de diferentes longitudes (Basson y Van As, 1989) (Fig. 1F). Como todos los protozoos ciliados, cuentan con un macronúcleo; que puede tener forma de salchicha o herradura, y un micronúcleo (Basson y Van As, 2006) (Fig. 1C).

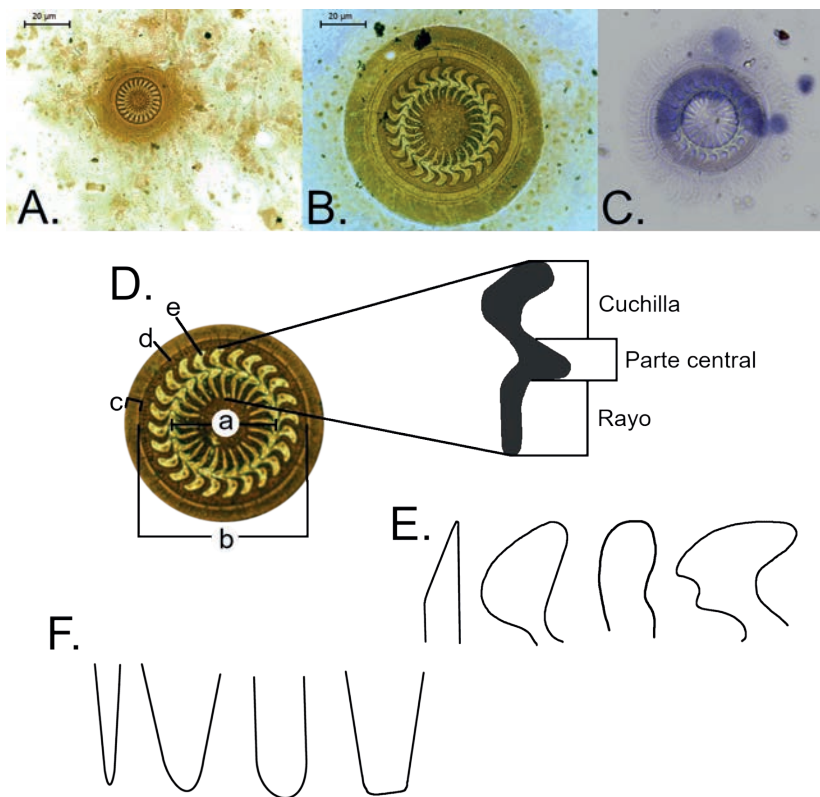
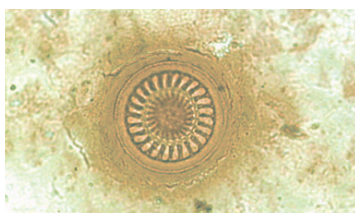


Fig 1. A. *Paratrachodina africana*, tricodínido de tamaño pequeño. B. *Trichodina magna*, tricodínido de gran tamaño. C. Macronúcleo de un tricodínido con la técnica de tinción hematoxilina de Harris. D. Esquema general de un tricodínido: a. anillo denticular, b. disco adhesivo, c. borde de la membrana, d. estriaciones radiales, e. dentículos. E. Diferentes formas que puede tener la cuchilla de los tricodínidos. F. Diferentes formas que pueden tener los rayos de los dentículos. (Fotografías e ilustraciones por Alma Islas)

Tricodínidos y su asociación con los peces y otros animales acuáticos

Como se mencionó anteriormente, los tricodínidos viven como ectosimbiontes de vertebrados e invertebrados acuáticos. Los efectos de estos organismos unicelulares en sus hospederos han sido ampliamente discutidos por varios autores; pues para algunos son sólo comensales que utilizan el hospedero como sustrato, en tanto que para otros autores los tricodínidos son verdaderos parásitos que provocan efectos negativos; pero quizá lo más correcto sea considerarlos parásitos facultativos, ya que, cuando el parásito se fija firmemente a su hospedero, el borde de la membrana aboral crea un movimiento de succión en



el epitelio, lo que provoca irritación en los tejidos de los peces, haciéndolos propensos a infecciones por hongos, virus o bacterias (Basson y Van As, 2006; Yokohama *et al.*, 2015; Hashimoto *et al.*, 2016; Islas-Ortega *et al.*, 2020b). Bajo ciertas condiciones los tricodínidos son capaces de provocar diversos efectos negativos en sus hospederos, que generalmente son peces, aunque también se pueden encontrar en anfibios (p. ej. En la rana leopardo de Moctezuma *Lithobates montezumae*, en la salamandra michoacana *Ambystoma ordinarium*, o en el sapo buey *Rhinella schneideri*, entre muchos otros) y en la superficie de invertebrados como cnidarios, moluscos y artrópodos acuáticos (p. ej. En los copépodos de los géneros *Mastigodiptomus*, *Notodiptomus*, y *Metadiptomus* (de Jager y Basson, 2019), donde probablemente los efectos

negativos también ocurren sin que hayan sido registrados formalmente en la literatura científica.

En los peces, los tricodínidos parasitan principalmente la piel, las aletas y las branquias (Van As y Basson, 1987) (Fig. 2), alimentándose de células, bacterias y/o detritus de la superficie del cuerpo. Bajo condiciones de

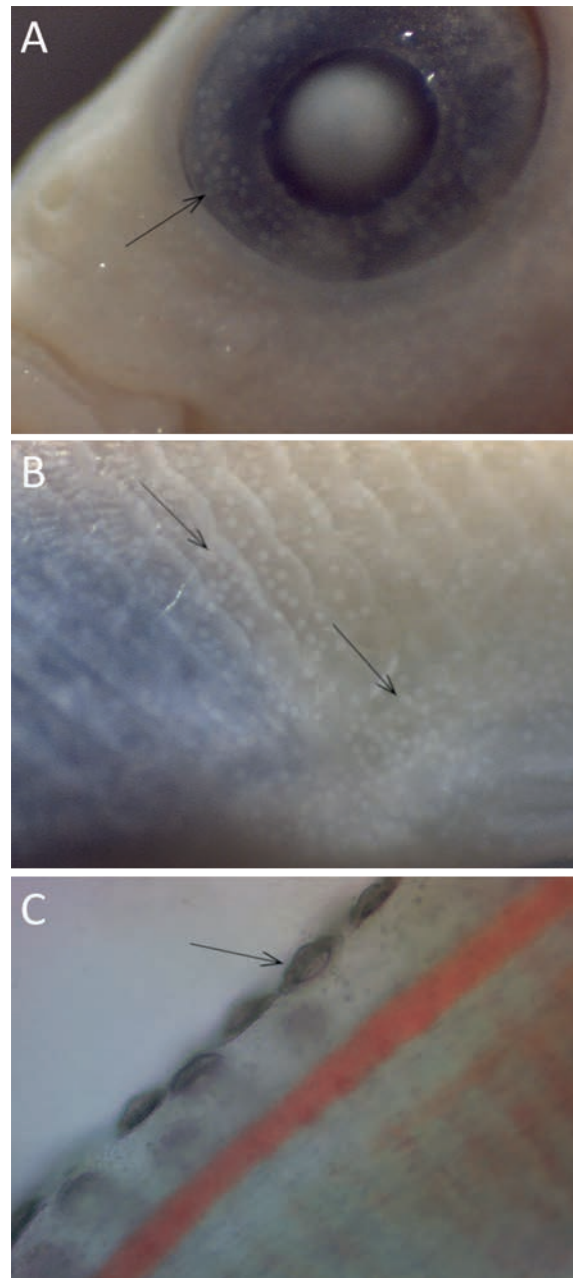


Fig. 2. A. *Trichodina* sp. en los ojos de *Tilapia* sp. (Pargo-UNAM). **B.** *Trichodina* sp. en las aletas de *Tilapia* sp. (Pargo-UNAM). **C.** *Trichodina* sp. en un filamento branquial de *Oreochromis niloticus*. Cada flecha indica uno de los múltiples individuos de *Trichodina* sp. sobre los tejidos de su hospedero. (Fotografías por Alma Islas y Rogelio Aguilar)

cultivo las poblaciones de tricotínidos pueden aumentar rápidamente en número, convirtiéndose en una hiperinfestación que provoca daño epitelial (Van As y Basson, 1987). Dada la importancia en términos económicos, hay un creciente interés por determinar los factores que promueven o limitan la infección de los peces por tricotínidos. La mayor parte de los estudios que refieren los efectos negativos que tienen sobre sus hospederos coinciden en que las lesiones cutáneas, como aletas con aspecto deshilachado y las lesiones al epitelio branquial, son los padecimientos observables más frecuentes sobre los peces, tanto en condiciones silvestres como de cultivo (Reichenbach-Klinke, 1982; Sleight, 1991; Hoffman, 1999; Wlasow *et al.*, 2003; Basson y Van As, 2006; Maciel *et al.*, 2018) (Fig. 3). Otros efectos como la pérdida de escamas, la decoloración de piel y branquias, la fusión

de las lamelas en los filamentos branquiales y los signos de asfixia (Fig. 4) son también frecuentemente mencionados (Van As *et al.*, 1984; Hassan, 1999). Otros efectos derivados de la infección por tricotínidos, como la pérdida de apetito, el adelgazamiento y la inflamación de los filamentos branquiales son referidos más esporádicamente (Madsen *et al.*, 2000). Estos efectos patológicos se agrupan bajo el término *tricotiniasis*, enfermedad que frecuentemente ha sido asociada con la mortalidad o el deterioro del crecimiento de peces dulceacuícolas cultivados en embalses

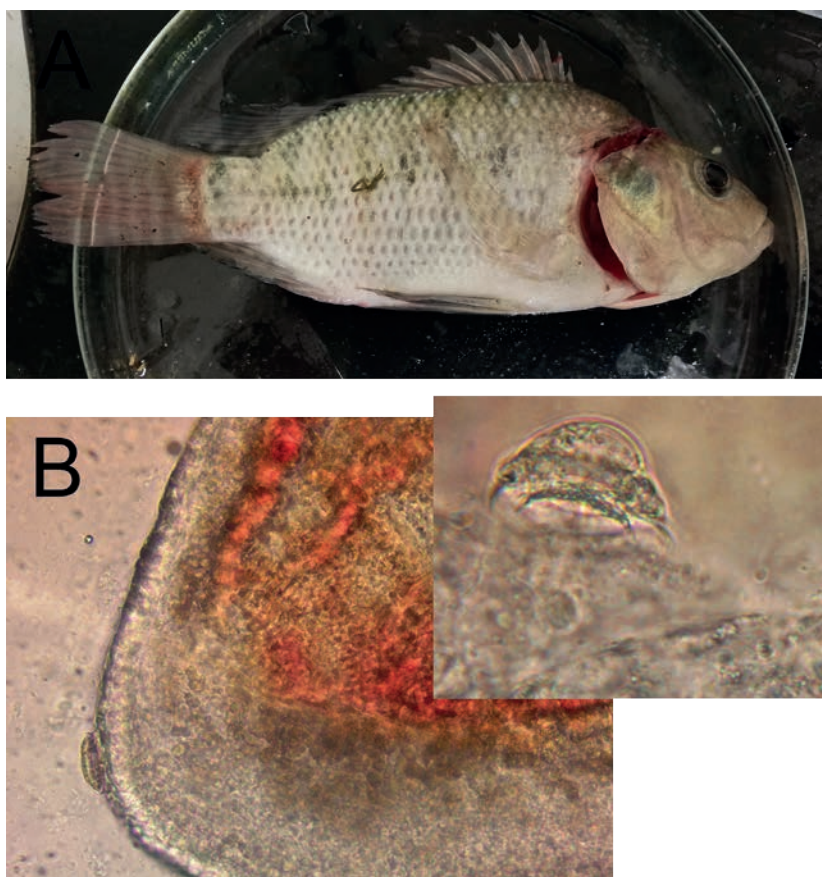


Fig. 3. A. *O. niloticus* parasitada con *Trichodina* sp. en branquias. B. *Trichodina* sp. sobre el filamento branquial. (Fotografías por Alma Islas y Rogelio Aguilar)

naturales o artificiales (Abo-Esa, 2008). Esto último es de gran relevancia. Los tricotínidos son uno de los diversos factores que tienen un efecto negativo sobre la actividad de

cultivo de especies acuáticas para el consumo humano, y la tricodiniasis pueden afectar rápidamente a los individuos en condiciones de confinamiento. Los tricodínidos se reproducen principalmente por fisión binaria y en algunas ocasiones por conjugación, presentan un ciclo de vida monoxénico, por lo que únicamente requieren la presencia del hospedero definitivo y aprovechan la cercanía entre los peces para pasar de un individuo a otro, provocando mortalidades masivas, y en consecuencia, grandes pérdidas económicas en la producción (Balbuena-Rivarolas, 2011).

Algunos estudios han sugerido que la patogenicidad de estos organismos varía entre la especie y el sitio de la infección (Valladão *et al.*, 2016). Aparentemente estos efectos no son constantes a lo largo del año. Buscando una correlación entre la época del año y la

abundancia de tricodínidos, diversos autores (Broeg *et al.*, 1999; Hassan, 1999; Özer, 2000; Yemmen *et al.*, 2011; Valladão *et al.*, 2016) encontraron que están presentes todo el año, pero durante la primavera su abundancia incrementa

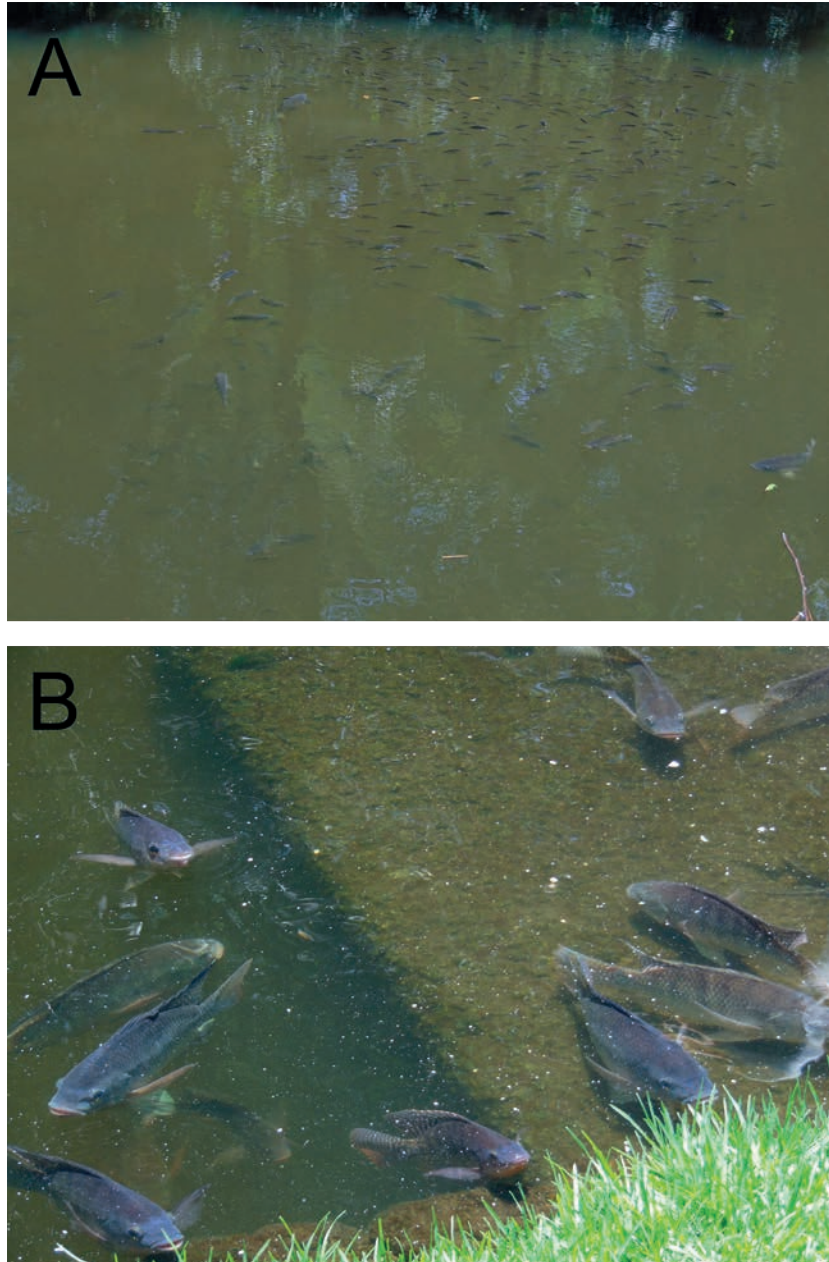


Fig. 4. Grupo de tilapias nadando cerca de la superficie de un estanque artesanal. Este comportamiento se da cuando los peces presentan problemas en el intercambio gaseoso como puede ocurrir con una tricodiniasis. (Fotografías por Rogelio Aguilar)

lo que en condiciones de cultivo puede ocasionar la muerte en masa (Balta *et al.*, 2008). Esto probablemente se debe

al aumento en la temperatura después del invierno, sin embargo, no existen estudios a largo plazo dedicados exclusivamente a analizar el efecto de la estacionalidad en las poblaciones de tricodínidos.

Diversidad y su estudio en México

Los tricodínidos, ciliados pertenecientes a la familia Trichodinidae, son un grupo de ciliados muy diverso ampliamente distribuido en ambientes acuáticos. Tal familia está constituida por once géneros, de los cuales *Trichodina* es el más diverso al contar con más de 250 especies alrededor del mundo (Lom y Diková, 1992), las cuales están principalmente asociadas a vertebrados e invertebrados habitantes de aguas continentales en regiones tropicales y templadas del mundo. A nivel mundial existen algunos lugares con numerosos registros de tricodínidos, sin embargo, su conocimiento es escaso en comparación con el de otras especies o grupos cuyo estudio ha sido tradicionalmente más extenso como las plantas, vertebrados e invertebrados.

En consecuencia, no existe algún lugar en el mundo del que se tenga una aproximación cercana a la realidad sobre la diversidad de especies de tricodínidos, y existen amplias regiones del planeta en donde no se cuenta con información (Basson y Van As, 2006).

En México la situación es similar. Mientras que en el Siglo XX se realizó un avance significativo en el conocimiento de la diversidad de múltiples grupos de seres vivos, el reducido número de especialistas en el estudio de protozoos tanto de vida libre como asociados a fauna silvestre ocasionó que únicamente exista el registro de cinco especies del género *Trichodina* asociadas principalmente a especies exóticas de

peces, introducidas a México con fines de consumo, así como una única mención de tricodínidos en peces nativos del Valle de México; estos registros fueron recopilados a mitad de la década que acaba de concluir (Aguilar-Aguilar e Islas-Ortega, 2015), coincidiendo con el inicio de una línea de investigación que hemos establecido con el propósito de conocer taxonómicamente aquellas especies de tricodínidos que se pueden encontrar en la ictiofauna mexicana, que consta de más de 2500 especies (Espinosa-Pérez, 2014). Es en estos años que el número de especies de tricodínidos registradas en el país se ha incrementado a 24 encontradas en 29 especies de peces, la mayoría nativos (Islas-Ortega y Aguilar-Aguilar, 2014; Aguilar-Aguilar *et al.*, 2016; Lagunas-Calvo *et al.*, 2016; Islas-Ortega *et al.*, 2020a; Islas-Ortega *et al.*, 2020b) (Fig. 5). Si bien está claro que el esfuerzo ha sido

disperso, gracias a los datos generados por nuestro grupo de trabajo, junto con nuevos datos producidos por otros centros de investigación (Paredes-Trujillo *et al.*, 2016; Rodríguez-Santiago *et al.*, 2019), actualmente es posible contar con un conocimiento base, del cual se deriven estudios que planteen objetivos diferentes al reconocimiento taxonómico (p. ej. Islas-Ortega *et al.*, 2018), o que exploren la diversidad de tricodínidos asociados a otros animales diferentes a los peces (p. ej. Antonio-Jasso *et al.*, 2021); en ese sentido, la Figura 5 ilustra por estado una síntesis de este conocimiento base actual, siendo posible apreciar que algunas regiones del centro y sureste de México el número de registros es nulo o muy bajo, en tanto que en los estados del norte y en aquellos del centro que son cercanos a la Ciudad de México existe una mayor cantidad

de especies registradas, siendo a la fecha los estados de Oaxaca y Michoacán los que cuentan con mayor diversidad. Así también, la Figura 5 muestra que además de los peces, existen registros derivados del análisis de otro tipo de animales acuáticos como crustáceos (Silva-Briano *et al.*, 2011) o anfibios (Antonio-Jasso *et al.*, 2021).

Conforme se incrementa el conocimiento de la diversidad de especies, es posible reconocer patrones.

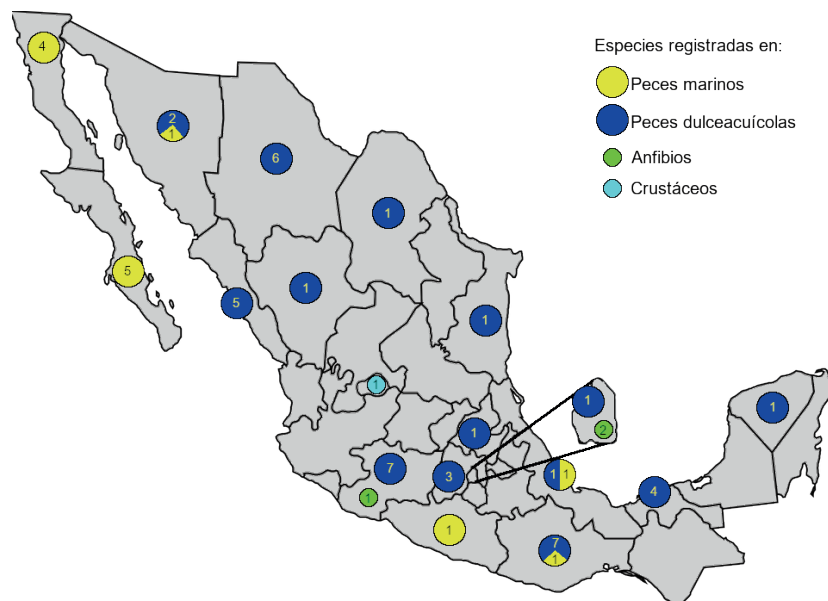


Fig. 5. Mapa de registros de tricodínidos en México. Cada número representa la cantidad de registros por estado.

Por ejemplo, es evidente que muchas de las especies registradas corresponden con las que han sido reportadas para otras partes del mundo, como Asia o África. A partir de este hecho, la composición de especies de tricodínidos en México tiene dos posibles explicaciones, la primera implica que estos organismos tienen una distribución amplia, por lo que se les puede encontrar en diversas partes del mundo (en microbiología esto se conoce como la hipótesis de “*everything is everywhere*” (O’Malley, 2007), o bien, una segunda posibilidad es que varias de las especies de tricodínidos que ahora encontramos en nuestro país

hayan sido introducidas como especies co-invasoras con peces originarios de otros sitios como las carpas asiáticas *Cyprinus carpio* y *Ctenopharyngodon idella*, o como las tilapias africanas del género *Oreochromis*.

Esta situación ha sido ampliamente discutida en la literatura de la especialidad, tanto para tricodínidos como para otros diversos grupos de parásitos. Actualmente se considera que el efecto de las co-invasiones sobre fauna autóctona constituye uno de los factores emergentes más importantes a considerar en términos de conservación biológica (Pérez-Ponce de León *et al.*, 2018), y tomando en cuenta la gran cantidad de peces que han sido o están siendo introducidos en diversas partes del mundo, se puede suponer que existe un enorme intercambio de especies simbiontes asociadas a cada población de peces que es movida de un lugar a otro (Lymbery

et al., 2014). Por ejemplo, en años recientes de manera intencional o accidental los sistemas acuáticos de México han resentido la invasión de peces como las carpas *Cyprinus carpio*, las tilapias *Oreochromis* spp., las truchas *Lepomis* spp. o el pez león *Pterois volitans*, entre muchos otros, que son registrados cada vez de manera más frecuente y han establecido poblaciones reproductivas estables en nuestro país (Ruíz-Campos *et al.*, 2014; Espinosa-Pérez y Ramírez, 2015; Villaseñor, 2020). Hasta el momento se ha documentado la invasión exitosa por parte de estas especies, sin que se tengan estudios de los organismos asociados a ellas y que seguramente han sido acarreados como co-invasores. En este sentido, algunos de los peces nativos que examinamos presentan varias especies de tricodínidos atribuidas típicamente a carpas o tilapias, lo que merece particular atención ya que la presencia de estas especies co-invasoras debe considerarse como un factor adicional en los planes de conservación *in situ* de las especies (Arnaud, 2020), en este caso de los peces nativos, de los cuales muchas especies en México se encuentran en alguna categoría de riesgo (Ceballos *et al.*, 2016). Por ejemplo, recientemente hemos documentado la presencia de especies relacionadas con tilapias y carpas como *Trichodina koloti* y *Trichodinella epizootica* en peces ciprínidos nativos del norte de México como *Campostoma ornatum*, *Dionda episcopa* o *Gila pulchra*, o la especie *Trichodina reticulata* en el godeido endémico *Girardinichthys viviparus*.

El trabajo taxonómico realizado hasta ahora es importante porque proporciona conocimiento sobre la diversidad de especies de tricodínidos que es posible encontrar en México. Sin embargo, algunos especialistas tienen reservas sobre la correcta determinación de muchas especies, y en general, se tiene una idea de que la verdadera

diversidad del grupo está subestimada (Tang *et al.*, 2017, Marcotegui *et al.*, 2018, Islas-Ortega *et al.*, 2018). Esto se debe a que los tricodínidos, al ser pequeños organismos unicelulares, presentan un número muy reducido de caracteres diagnósticos, por lo que todas las especies descritas hasta el momento resultan muy similares entre sí a primera vista, y su diferenciación taxonómica se basa en ligeras variaciones. En otras palabras, de acuerdo con algunos autores es probable que el grupo de los tricodínidos esté conformado por numerosas especies que no podemos reconocer debido al número reducido de estructuras diagnósticas que poseen y por la dificultad de observarlas (Tang *et al.*, 2017). En el trabajo taxonómico moderno esta situación se ha presentado de manera similar en numerosos grupos biológicos (Simon *et al.*, 2008; Guevara y Sainoz, 2012; Ortega-Andrade *et al.*, 2015; Pérez-Ponce de León y Poulin, 2016, 2018), donde recientemente la diversidad conocida se ha incrementado de manera notable debido a la presencia de especies crípticas, detectadas a partir de la comparación de individuos con una morfología muy similar pero que analizados con otras técnicas, como la biología molecular, muestran que genéticamente se encuentran tan separadas que es posible considerarlos pertenecientes a especies diferentes.

Lo anterior sugiere que la taxonomía tradicional resulta insuficiente para describir la diversidad del grupo, por esta razón, como complemento de la labor taxonómica, recientemente hemos recurrido a la taxonomía integrativa, que busca utilizar información de diversas fuentes para conseguir una correcta delimitación de cada especie. En este sentido, hemos iniciado análisis moleculares con el gen nuclear 18s para caracterizar genéticamente poblaciones de tricodínidos provenientes de diferentes localidades,

y con ello decidir si la distancia geográfica se relaciona con una diferencia a nivel genético en estas poblaciones tal como ocurre con otros parásitos como los helmintos, sin embargo, hasta hoy la comparación de las secuencias entre las poblaciones de la especie marina *Trichodina rectuncinata* muestra uniformidad genética que más bien apoya la idea generalizada de que estos organismos son cosmopolitas (Islas-Ortega *et al.*, 2018). Cabe señalar que esta conclusión corresponde a una sola especie de las más de 250 que se consideran válidas, por lo que es necesario realizar análisis similares en un número mucho mayor de especies antes de intentar postular un patrón sobre la distribución de estos organismos.

Como complemento a los análisis moleculares, actualmente hemos comenzado a estudiar los

caracteres morfológicos más evidentes bajo los supuestos de los análisis de morfometría geométrica.

Así, a partir de un contorno promedio de la estructura bajo estudio, el cual generalmente se obtiene a través de la superposición de imágenes analizadas mediante una librería del programa RStudio (1.3.1056) (RStudio Team) se busca detectar discontinuidades morfológicas estadísticamente significativas entre los diferentes tricodínidos (Fig. 6), de tal forma que ello nos permita decidir si tales discontinuidades son lo suficientemente relevantes para contribuir en establecer una sólida propuesta de delimitación entre especies.

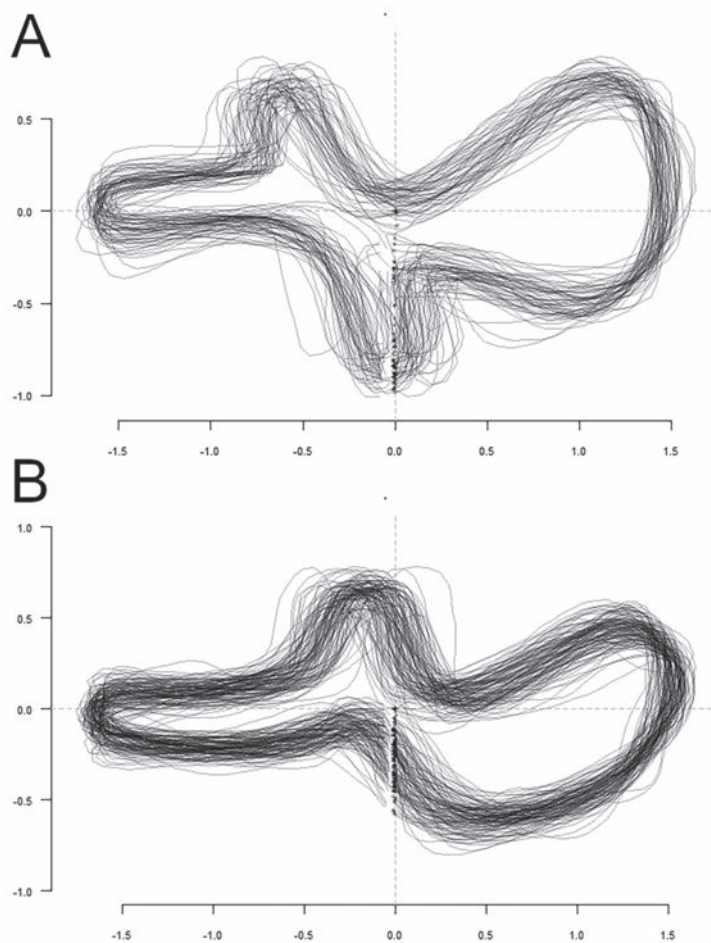


Fig. 6. Alineación de los denticulos para obtener una silueta promedio de **A.** *Paratrachodina africana*, **B.** *Trichodina centrostrigeta* bajo el análisis de morfometría geométrica. (Imagen correspondiente al proyecto de doctorado de Alma Islas)

Consideraciones finales

En un país megadiverso como México es normal que los inventarios biológicos de muchos taxones sean aun incompletos, y el caso de los protozoos tricodínidos no es una excepción. A pesar de que en los años recientes se han incrementado los registros sobre estos organismos, tenemos que considerar que hasta hoy ha sido examinado un muy escaso conjunto de peces hospederos (aproximadamente el 2%), por lo que se estima que el número conocido de especies de tricodínidos actualmente se elevará conforme exista una mayor cantidad de estudios.

Además de su importancia como un componente de la biodiversidad, los tricodínidos están fuertemente ligados a una actividad tan importante como la acuicultura. Por lo anterior, resulta deseable la formación de recursos

humanos (biólogos, ecólogos, veterinarios, etc.) capaces de reconocer, diferenciar y analizar las relaciones ectosimbionte-hospedero en estos interesantes organismos.

Agradecimientos

La primera autora agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca para realizar los estudios de doctorado, así como al Programa de Apoyo a los Estudios de Posgrado (PAEP) y al Programa de Posgrado en Ciencias Biológicas (UNAM) por el apoyo económico para trabajo de campo y estancias de investigación en el extranjero.

Bibliografía

- Abo-Esa, J.F.K. 2008. *Study on some ectoparasitic diseases of catfish, Clarias gariepinus with their control by ginger, Zingiber officinale*. Mediterranean Journal 1: 1-10.
- Aguilar-Aguilar, R. y A.G. Islas-Ortega. 2015. *A checklist of ciliate parasites (Ciliophora) of fishes from Mexico*. Zootaxa 4027 (2): 270-280.
- Aguilar-Aguilar, R., A.G. Islas-Ortega, O. Lagunas-Calvo, N. López y H. Espinosa-Pérez. 2016. *New host-parasite relationships for Trichodina rectuncinata (Ciliophora: Trichodinidae) on the gills of marine fishes from Mexico*. Marine Biodiversity 46 (1): 3-4.
- Antonio-Jasso, I.P., E. Monserrat-Vilchis, R.I. Santillán-Pérez, R. Aguilar-Aguilar y A.G. Islas-Ortega. 2021. *Parasites of Lithobates montezumae tadpoles from the "Jardín Botánico Exterior", Pedregal de San Ángel Ecological Reserve, National University of Mexico*. BIOCYT, Biología, Ciencia y Tecnología 14: 1021-1028.
- Arnaud, G. 2020. *Estrategias de conservación de los vertebrados de México*. Recursos Naturales y Sociedad. 6 (2): 55-66.
- Balbuena-Rivarolas, E.D. 2011. *Manual básico de sanidad piscícola*. Ministerio de agricultura y ganadería. Viceministerio de Ganadería, Montevideo. 52 pp.
- Balta, F., S. Kayis y I. Altinok. 2008. *External protozoan parasites in three trout species in the Eastern Black Sea region of the Turkey: intensity, seasonality, and their treatments*. Bulletin-European Associations of Fish Pathologists 28 (4): 157-162.
- Basson, L. y J.G. Van As. 1989. *Differential diagnosis of the genera in the family Trichodinidae (Ciliophora: Peritrichida) with the description of a new genus ectoparasitic on freshwater fish from southern Africa*. Systematic Parasitology 13: 153-160.

- Basson, L. y J.G. Van As. 1995. *SEM methods for revealing structures in mobile ciliophorans*. Electron Microscopy Society of Southern Africa 25 (1): 68.
- Basson, L. y J.G. Van As. 2006. *Trichodinidae and other ciliophorans (Phylum Ciliophora)*. pp. 154-182. En: Woo P.T.K. (Ed.). *Fish diseases and disorders*, vol. 1. Wallingford, CAB International. 800 pp.
- Broeg, K., S. Zander, A. Diamant, W. Körting, G. Krüner, I. Paperna y H.V. Westernhagen. 1999. *The use of fish metabolic, pathological and parasitological indices in pollution monitoring*. Helgoland Marine Research 53: 171-194.
- Ceballos, G., E. Díaz-Pardo, L. Martínez y H. Espinosa-Pérez. 2016. *Los peces dulceacuícolas de México en peligro de extinción*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de México. 487 pp.
- de Jager, G.P. y L. Basson. 2019. *Taxonomic assessment of three North American trichodinids by re-evaluating the taxon validity of Trichodina heterodentata Duncan, 1977 (Peritrichia)*. Acta Protozoologica 58: 125-139.
- Espinosa-Pérez, H. 2014. *Biodiversidad de peces en México*. Revista Mexicana de Biodiversidad 85: S450-S459.
- Espinosa-Pérez, H. y M. Ramírez. 2015. *Exotic and invasive fishes in Mexico*. Check list 11: 1627.
- Guevara, L.M. y A. Sainoz. 2012. *Especies crípticas: diferentes especies con una misma forma*. Ciencia y Desarrollo 38 (258): 6-13.
- Hashimoto, G.S.O., N.C. Marchiori, S.B. Pádua, M.M. Ishikawa, J.R.E. Garcia y M.L. Martins. 2016. *A new species of Trichodina Ehrenberg, 1830 (Ciliophora: Trichodinidae) from Rhamdia quelen (Siluriformes: Heptapteridae) and Gymnotus sp. (Teleostei: Gymnotidae) in Brazil*. Acta Parasitologica 61: 707-712.
- Hassan, M.A.E.A.H. 1999. *Trichodiniasis in farmed freshwater Tilapia in Eastern Saudi Arabia*. Journal of King Saud University - Engineering Sciences 10: 157-168.
- Hoffman, G.L. 1999. *Parasites of North American Freshwater Fishes*. Comstock Publishing Associates, Nueva York, 539 pp.
- Islas-Ortega, A.G. y R. Aguilar-Aguilar. 2014. *Trichodina mutabilis (Protozoa: Ciliata: Trichodinidae) from the characid fish Astyanax mexicanus in the Cuatro Ciénegas region, northern Mexico*. Revista Mexicana de Biodiversidad 85: 613-616.
- Islas-Ortega, A.G., R. Aguilar-Aguilar, P. Marcotegui, S. Martorelli, D. Hernández-Mena y G. Pérez-Ponce de León. 2018. *Morphology and sequence data of mexican populations of the ciliate parasite of marine fishes Trichodina rectuncinata (Ciliophora: Trichodinidae)*. Acta Protozoologica 57: 145-151.

- Islas-Ortega, A.G., L. Basson, P. Marcotegui, G. Ruiz-Campos, G.P. de Jager, G. Rivas y R. Aguilar-Aguilar. 2020a. *Trichodinids (Ciliophora: Trichodinidae) on rocky-tidal fishes from the Baja California Peninsula, Mexico*. Journal of Parasitology 106 (5): 689-698.
- Islas-Ortega, A.G., P.S. Marcotegui, L. Basson y R. Aguilar-Aguilar. 2020b. *A checklist of trichodinid species (Ciliophora: Trichodinidae) on tilapia fishes (Cichlidae), with new records from Mexico and the first data from Argentina*. Zootaxa 4896 (4): 451-484.
- Lagunas-Calvo, O., R. Aguilar-Aguilar, A.G. Islas-Ortega y A. Martínez-Aquino. 2016. *Parásitos de peces dulceacuícolas de la porción oaxaqueña de la provincia biogeográfica Sierra Madre del Sur*. pp. 313-323. En: Luna I., D. Espinosa y R. Contreras-Medina (Eds.). Biodiversidad de la Sierra Madre del Sur: una síntesis preliminar. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 524 pp.
- Lom, J. y I. Dyková. 1992. *Protozoan parasites of fishes*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. 355 pp.
- Lymbery, A.J., M. Morine, H.G. Kanani, S.J. Beatty y D.L. Morgan. 2014. *Co-invaders: The effects of alien parasites on native hosts*. International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife 3: 171-177.
- Maciel, P.O., F. Garcia, E.C. Chagas, R.Y. Fujimoto y M. Tavares-Dias. 2018. *Trichodinidae in commercial fish in South America*. Reviews in Fish Biology and Fisheries 28 (1): 33-56.
- Madsen, H.C.K., K. Buchmann y S. Møllergaard. 2000. *Association between trichodiniasis in eel (Anguilla anguilla) and water quality in recirculation systems*. Aquaculture 187: 275-281.
- Marcotegui, P.S., M.M. Montes, J. Bernache, W. Ferrari y S. Martorelli. 2018. *Geometric morphometric on a new species of Trichodinidae. A tool to discriminate species combined with traditional morphology and molecular analysis*. International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife 7: 228-236.
- O'Malley, M. 2007. *The nineteenth century roots of 'everything is everywhere'*. Nature Reviews Microbiology 5: 647-651.
- Ortega-Andrade, H.M., O.R. Rojas-Soto, J.H. Valencia, A. Espinoza de los Monteros, J.J. Morrone, S.R. Ron y D.C. Cannatella. 2015. *Insights from integrative systematics reveal cryptic diversity in Pristimantis frogs (Anura: Craugastoridae) from the up upper Amazon basin*. Plos One 10 (11): e0143392.
- Özer, A. 2000. *The occurrence of three species of Trichodina (Ciliophora: Peritricha) on Cyprinus carpio in relation to culture conditions, seasonality and host characteristics*. Acta Protozoologica 39: 61-66.

- Paredes-Trujillo, A., I. Velázquez-Abunader, E. Torres-Irineo, D. Romero y V.M. Vidal-Martínez. 2016. *Geographical distribution of protozoan and metazoan parasites of farmed Nile tilapia Oreochromis niloticus (L.) (Perciformes: Cichlidae) in Yucatán, Mexico*. Parasites & Vectors 9: 66.
- Pérez-Ponce de León, G., O. Lagunas-Calvo, L. García-Prieto, R. Briosio-Aguilar y R. Aguilar-Aguilar. 2018. *Update on the distribution of the co-invasive Schyzocotyle acheilognathi (= Bothriocephalus acheilognathi), the Asian fish tapeworm, in freshwater fishes of Mexico*. Journal of Helminthology 92(3): 279-290.
- Pérez-Ponce de León, G. y R. Poulin. 2016. *Taxonomic distribution of cryptic diversity among metazoans: not so homogeneous after all*. Biology Letters 12(8): 20160371.
- Pérez-Ponce de León, G. y R. Poulin. 2018. *An updated look at the uneven distribution of cryptic diversity among parasitic helminths*. Journal of Helminthology 92: 197-202.
- Reichenbach-Klinke, H.H. 1982. *Enfermedades de los peces*. Editorial Acribia, España. 524 pp.
- Rodríguez-Santiago, M.A., L. García-Magaña, M.I. Grano-Maldonado, E.N. Silva-Martínez, J. Guerra-Santos y R. Gelabert. 2019. *First record of Trichodina centrostrigeata Basson, Van As & Paperna, 1983 (Ciliophora: Trichodinidae) from Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758) cultured in southeastern Mexico*. Latin American Journal of Aquatic Research 47: 367-370.
- RStudio Team. 2020. RStudio: Integrate Development for R. Studio, PBC, Boston, <http://www.rstudio.com/>
- Ruíz-Campos, G., A. Varela-Romero, S. Conteras-Balderas, F. Camarena-Rosales y A. Andreu-Soler. 2014. *Current distributional status of seven invasive exotic fishes in the Peninsula of Baja California*. pp. 351-372. En: Wehncke E.V., J.R. Lara-Lara, S. Álvarez-Borrego y E. Ezcurra (Eds.). Conservation science in Mexico's northwest. Ecosystem's status and trends in the Gulf of California. UC Mexus-SEMARNAT, California. 550 pp.
- Silva-Briano, M., E. Suárez-Morales, A. Adabache-Ortiz y M. Reyes-Flores. 2011. *Two species of Mastigodiatomus (Copepoda: Diaptomidae), hosts of the epibiotic ciliate Trichodina diaptomi (Peritricha) in North America*. Journal of Limnology 70(2): 329-333.
- Simon, E.M., D.L. Nanney y F.P. Doerder. 2008. *The "Tetrahymena pyriformis" complex of cryptic species*. Biodiversity and Conservation 17: 365-380.
- Sleigh, M.A. 1991. *The nature of Protozoa*. En: Kreier J.P. (Ed.). Parasitic Protozoa. Academic Press, Inc., San Diego, California. 53 pp.

- Tang, F.H., Y. Zhang y Y. Zhao. 2017. *Morphological and molecular identification of the new species Trichodina pseudoheterodontata sp. n. (Ciliophora, Mobilida, Trichodinidae) from the channel catfish, Ictalurus punctatus, in Chongqing China*. Journal of Eukaryotic Microbiology 64: 45-55.
- Van As, J.G. y L. Basson. 1987. *Host specificity of trichodinid ectoparasites of freshwater fish*. Parasitology Today 3 (3): 88-90.
- Van As, J.G., L. Basson y J. Theron. 1984. *An experimental evaluation of the use of formalin to control trichodiniasis and other ectoparasitic protozoans on fry of Cyprinus carpio L. and Oreochromis mossambicus (Peters)*. African Journal of Wildlife Research 14: 42-48.
- Valladão, G.M.R., L.O. Alves y F. Pilarski. 2016. *Trichodiniasis in Nile tilapia hatcheries: Diagnosis, parasite: host-stage relationship and treatment*. Aquaculture 451: 444-450.
- Villaseñor, J.C. 2020. *El pez león: invasor en el Caribe Mexicano*. Biodiversitas 149: 1-6.
- Wlasow, T., I. Zmysłowska, D. Lewandowska, K. Mierzejewska, R. Idzikowski y E. Ziomek. 2003. *Bacteria and parasites on the gills of pike Esox lucius L. and tench Tinca tinca (L.) as indices of the trophic level of Oświn lake (Northeastern Poland)*. Archives of Polish Fisheries 11: 225-235.
- Yemmen, C., M.H. Ktari y S. Bahri. 2011. *Seasonality and histopathology of Trichodina puytoraci Lom, 1962, a parasite of flathead mullet (Mugil cephalus) from Tunisia*. Acta Adriatica 52 (1): 15-20.
- Yokoyama, H., N. Itoh y K. Ogawa. 2015. *Fish and shellfish diseases caused by marine protists*. pp. 533-549. En: Ohtsuka, S., T. Suzaki, T. Horiguchi, N. Suzuki y F. Not (Eds.). Marine protists: Diversity dynamics. Springer, Tokyo. 648 pp.

Cita

- Islas-Ortega A.G., y R. Aguilar-Aguilar. 2021. *Mandalas naturales. Tricodínidos asociados a peces y su diversidad en México*. Recursos Naturales y Sociedad, 2021. Vol. 7 (2): 85-100. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2021.07.07.02.0006>

Sometido: 15 de abril de 2021

Revisado: 14 de junio de 2021

Aceptado: 11 de julio de 2021

Editora asociada: Dra. Hortencia Obregón Barboza

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

In Memoriam



In memoriam

**Aldo Joaquín Vargas Mendieta
(1960-2021)**



Por Lic. Cinthya Castro Iglesias y
MC. Daniela Núñez García

El nombre de Aldo Joaquín Vargas Mendieta era familiar para mucha gente. Absolutamente familiar y paceño. Su afabilidad lo hizo conquistar muchas y duraderas amistades, algunas construidas desde su adolescencia y que permanecimos en agenda compartida hasta el final de su existencia.

Quienes tuvimos el privilegio de convivir cotidianamente con él, sabíamos de su gentileza y su gracia, armas que usaba detrás de su sonrisa franca. Era considerado un “abre puertas” para quienes le solicitábamos el favor de su intermediación.

Siempre había un buenos días compañeras, buenos días compañeros. Llegaba todas las mañanas sonriente y ofertando una humeante taza de café y un bolillo “crujiente”, dando los pronósticos políticos, económicos, ambientales, siempre

The name of Aldo Joaquín Vargas Mendieta was familiar to many people. Absolutely man of family and “Paceño”. His affability made him conquer many long-lasting friendships, some built since his adolescence and that we remained on a shared agenda until the end of his existence.

Those of us who had the privilege of living with him on a daily basis knew of his gentleness and grace, weapons that he used behind his frank smile. He was considered a “door opener” for those of us who requested the favor of his intermediation.

There was always a good morning companions, good morning companions. He would arrive every morning smiling and offering a steaming cup of coffee and a crunchy roll, giving political, economic, and environmental forecasts, always concerned about the decisions that the rest of us made regarding health and finances.

preocupado por las decisiones que los demás tomábamos en cuanto a la salud y las finanzas.

Desde muy joven se asomó a la ventana del mundo de la imagen a través del cine, con una pasión y el gran conocimiento de cinéfilo, que lo distinguían. De esa misma forma grabó y editó innumerables producciones.

Su sensibilidad y curiosidad lo hicieron interiorizar el paisaje y la cultura sudcaliforniana de una forma notable. Era pues, un intérprete consumado de la naturaleza y la sociedad de su tiempo.

Aldo Vargas Mendieta tenía el sueño y la licencia para volar. Había estudiado la carrera de piloto y antes de los drones, sabía hacer lucir al centro desde el aire, con su cámara trepada de aventón en algún avión militar o particular, al que accedía con la misma amable personalidad.

La mirada de Aldo Vargas a través del lente era muy versátil, retrató por muchos años a personajes de la vida social, del ámbito político y científico del estado, así como especies de flora y fauna, fue acompañante por muchos años del cuerpo del personal científico del Cibnor.

El técnico Vargas Mendieta, usó siempre la cámara manual, sabía el momento preciso, la luz correcta y sobre todo el encuadre

From a very young age he looked out the window of the world of the image through the cinema, with a passion and the great knowledge of a cinephile, which distinguished him. In the same way, he recorded and edited countless productions.

His sensitivity and curiosity made him internalize the South Californian landscape and culture in a remarkable way. He was thus a consummate interpreter of the nature and society of his time.

Aldo Vargas Mendieta had the dream and the license to fly. He had studied the career of a pilot and before drones, he knew how to make the center look from the air, with his camera hitchhiked on some military or private plane, which he accessed with the same friendly personality.

The look of Aldo Vargas through the lens was very versatile, for many years he portrayed characters from social life, the political and scientific field of the state, as well as species of flora and fauna, he was a companion for many years of the body of scientific personnel of the Cibnor.

Technician Vargas Mendieta always used the manual camera, he knew the precise moment, the correct light and above all the framing with the appropriate focus and a very particular perspective. The daily task, that which seems simple, that we can

con el foco adecuado y una perspectiva muy particular. La tarea cotidiana, esa que parece simple, que todos podemos tomar fotografías, él la hacía diferente, con profesionalismo, no se negaba a ningún servicio, sin importar la hora o el lugar, además migrar del mundo analógico al digital no fue problema para *Aldé* como le decíamos de cariño, jamás perdió la oportunidad de fotografiar, sus imágenes seguirán representando a nuestra institución por muchos años más, porque queda en la memoria histórica del centro y quienes tuvimos la oportunidad de aprenderle, seguiremos su legado.

all take photographs, he did it differently, with professionalism, he did not refuse any service, regardless of the time or place, also migrating from the analogue to the digital world was not a problem for Aldé, as we affectionately told him, he never missed the opportunity to photograph, his images will continue to represent our institution for many more years, because it remains in the historical memory of the center and those of us who had the opportunity to learn from him will continue his legacy.

In memoriam

Dr. Fernando García Carreño



Por Arturo Sánchez-Paz y
Adriana Muhlia-Almazán

Lo cierto es que Fernando ya no está. Simplemente se fue de nuestras vidas. Su ausencia se configura en una inmensa carencia y un dolorcito constante en el corazón. La noticia de su inoportuno fallecimiento fue de estupor, impropia para alguien que tenía tanto que dar. Nos cuesta asimilar que nuestro tutor y amigo dejaría de acompañarnos, de guiarnos, de aconsejarnos. Quizás escribimos esto para disminuir un poco el dolor que deja el vacío de ya no tenerlo con nosotros en presencia, pero en el corazón siempre, siempre, siempre.

Es difícil escribir sobre Fernando en pasado. Fer (así lo llamábamos muchos), era un hombre con una gran inteligencia y una increíble riqueza de conocimientos (en ocasiones era sorprendente escucharlo mencionar algún dato o una fecha de un evento histórico). Los que conocimos

The truth is that Fernando is no longer here. He just left our lives. His absence is configured in an immense lack and a constant pain in our hearts. The news of his untimely death was shocking, inappropriate for someone who had so much to give. It is difficult for us to assimilate that our tutor and friend would stop accompanying us, guiding us, advising us. Perhaps we write this to reduce a little the pain left by the emptiness of no longer having him with us in our presence, but he will remain in our hearts always, always, always.

It is difficult to write about Fernando in the past tense. Fer (that's how many of us called him) was a man with great intelligence and an incredible wealth of knowledge (sometimes it was surprising to hear him mentioning some data or a date of a historical event). Those of us who knew Fernando well know that he

bien a Fernando sabemos que era un hombre al que le apasionaba su profesión, y siempre buscó la forma de compartir sus conocimientos. Los que fuimos sus estudiantes atestiguamos su enorme entrega profesional. Todos “*sufrimos*”, aprendimos y nos contagiábamos de sus deseos de superación. Estaba al pendiente de sus alumnos, a muchos de los cuales nos orientó espléndidamente hacia el mundo de la investigación y nos cambió la forma de ver la vida. Con entusiasmo nos animaba a realizar estancias fuera del país, y constantemente invitó investigadores extranjeros para que tuviéramos contacto con otras formas de pensar, para ampliar nuestros horizontes, para experimentar otros ambientes académicos y otras culturas. Fue un excelente tutor, lo que se manifiesta en la notable cantidad de alumnos a los que dirigió sus tesis, y que hoy en día nos encontramos laborando en diversos centros de investigación y universidades nacionales o extranjeras. Las pláticas que teníamos a la hora del “*cafecito*”, en las que discutimos muchos temas además de los del trabajo diario (religión, política, fútbol, entre otros) podían ser provocadoras, pero estamos seguros de que siempre fueron con la intención de retornos. Para poder tener una buena charla con Fer había que llegar bien preparado, bien leído, con buenos argumentos. Y... finalmente, llegó

was a man who was passionate about his profession, and he always looked for a way to share his knowledge. Those of us who were his students witnessed his enormous professional dedication. We all “*suffer*”, learned, and were infected by his desire for improvement. He was attentive to his students, many of whom he splendidly guided towards the world of research and changed the way we see life. He enthusiastically encouraged us to make academic residences abroad and constantly invited foreign researchers so that we could have contact with other forms of thinking, broadening our horizons, and experience different academic environments and other cultures. He was an excellent tutor, which is manifested in the remarkable number of students to whom he directed his theses, and that are working in various research centers and national or foreign universities. The talks we had at *cafesito* time, in which we discussed many topics in addition to daily work (religion, politics, soccer, among others) could be provocative, but we are sure that he always had the intention to challenge us. To have a rich good talk with Fer, you had to come well prepared, well-read, with good arguments. And finally, the moment came when we earned the recognition of the “*boss*,” which he let us know without reservation and forever.

el momento en el que nos ganamos el reconocimiento del “jefe”, lo que nos hizo saber sin reservas y por siempre.

Fer fue un crítico mordaz de muchas cosas que pasaban a nuestro alrededor, pero nunca fue desleal, y sus opiniones (directas, francas y frontales), no podían dejar indiferente a quien las escuchaba. Su propia personalidad lo hacía polémico y así lo queríamos. No era un amigo que nos cobijaba en la comodidad de la autocomplacencia, sino uno de esos que impulsan a crecer constantemente.

Los que tuvimos la fortuna de habernos congregado en su círculo de amigos sabíamos que Fer siempre estaba dispuesto no nada más a ofrecer su ayuda, sino a ayudar. Fue un amigo generoso. Constantemente nos repetía que “*primero hay que buscar entender a los demás, y después buscar ser entendidos*” y a ser “*pro-activos más que reactivos*”. Fer para nosotros fue y será más que un colega: era un amigo afectuoso y sincero. No nada más nos abrió las puertas de su hogar, sino que nos hizo parte de su querida familia. La familia que formó con “*nuestra*” muy querida Ann. Éramos, la familia extendida.

Fer: a donde quiera que estés vuela libre, tomate un vinito, lee muchos libros y no te olvides de nosotros, porque aquí, de verdad... se te extraña.

Fer was a scathing critic of many things that happened around us, but he was never disloyal, and his opinions (direct, frank, and frontal), could not leave the listener indifferent. His personality made him controversial, and that was the way we appreciated him. He was not a friend who sheltered us in the comfort of self-complacency, but one of those who constantly drives us to grow.

Those of us who were fortunate enough to have congregated in his circle of friends knew that Fer was always ready not just to offer his help, but to help. He was a generous friend. He constantly repeated to us that “*seek first to understand, and then to be understood*” and to be “*proactive rather than reactive*.” Fer was and will be more than a colleague for us: he was an affectionate and sincere friend. Not only did he open the doors of his home to us, but he made us part of his beloved family. The family he formed with “*our*” dear Ann. We were the extended family.

Fer: wherever you are, fly free, have some little wine, read many books, and don't forget about us, because here... you are badly missed.

In Memoriam

Horacio Bernardo Goytortúa Bores



Por Edgar Yuen Sánchez

Recordando con mucho cariño al buen compañero, amigo y gran hombre de familia que siempre demostró ser, con esa disponibilidad para brindar ayuda a quien lo necesitara. Precursor del uso de herramientas tecnológicas y sistemas de información científica en la antigua Unidad de Información del Centro de Investigaciones Biológicas (hoy Biblioteca), convirtiéndose en referente en la búsqueda inicial de artículos científicos almacenados en bases de datos en CD's que llegaban regularmente por correo y que tenía que organizar para poder consultar a lo largo del día, ya sea cuando un investigador iniciaba un proyecto o un estudiante su tesis.

El paso de estudiantes de preparatoria y licenciatura por esa área era inevitable, ya sea para realizar su servicio social o prácticas profesionales o para investigar algún tema. Incluso en ocasiones servía

Remembering with much affection the good companion, friend and great family man that he always proved to be, with that availability to provide help to those who need it. Precursor of the use of technological tools and scientific information systems in the former Information Unit of the Center for Biological Research (now the Library), becoming a reference in the initial search for scientific articles stored in databases on CDs that regularly arrived by mail and that I had to organize to be able to consult throughout the day, either when a researcher started a project or a student his thesis.

The passage of high school and undergraduate students through that area was inevitable, either to carry out their social service or professional practices or to research a topic. Sometimes it even served as a guide to take those interested on a tour of the main areas of the institution, this walk was accompanied by a pleasant talk and

de guía para llevar a los interesados a un recorrido por las principales zonas de la institución, dicha caminata era acompañando con una amena charla y diversas anécdotas relacionadas con su trayectoria humana y profesional.

A nivel personal, siempre le estaré agradecido por haber contribuido de manera importante en mi aprendizaje en el interesante mundo de las búsquedas y recuperación de información científica y tecnológica. A través de su enseñanza me mostró que los pequeños detalles...hacían la diferencia. Esto consistía en buscar toda la información que había para encontrar aquella que se necesitaba a través de su técnica de depuración, “las palabras clave hacen la diferencia” me decía. A la par de la capacitación, Horacio siempre mostró gran voluntad para ayudar a quien lo necesitaba: Familia, compañeros de trabajo, amigos, incluso extraños. Horacio disfrutaba mucho acampar, estar en contacto con la naturaleza, situación que compartimos en alguna ocasión en compañía de varios compañeros y amistades en común. Su querido ‘vocho’, fue cómplice de varias e inolvidables aventuras que enriquecieron su historia de vida.

A lo largo de su actividad laboral en la Unidad de Información, Horacio construyó lazos amistosos con estudiantes que

various anecdotes related to his human and professional career.

On a personal level, I will always be grateful to him for having contributed significantly to my learning in the interesting world of scientific and technological information search and retrieval. Through his teaching he showed me that the little details... made a difference. This consisted of looking for all the information there was to find the one that was needed through its debugging technique, “keywords make a difference” he told me. Along with the training, Horacio always showed great willingness to help those who needed it: family, co-workers, friends, even strangers. Horacio very much enjoyed camping, being in contact with nature, a situation that we share on occasion in the company of several colleagues and friends in common. His beloved ‘vocho’ was an accomplice in several unforgettable adventures that enriched his life story.

Throughout his work activity in the Information Unit, Horacio built friendly ties with students who came to carry out their social service and professional internships at the baccalaureate and / or professional level. Some of them stayed to work there. At the time when a server carried out the two processes, an excellent friendly work group was formed: Tonny, Esther, Susy, Chabelita, Ana María, Yady and Edgar, with whom he

llegaron a realizar su servicio social y prácticas profesionales de nivel bachillerato y/o de nivel profesional. Algunos de ellos nos quedamos a laborar ahí. En la época en que un servidor realizó los dos procesos, se formó un excelente grupo de trabajo amistoso: Tonny, Esther, Susy, Chabelita, Ana María, Yady y Edgar, con quienes compartió diversos acontecimientos de forma amena y divertida. Tiempo después por azares del destino, Horacio se cambió de área pero siempre nos manifestó que seguiría dispuesto a apoyarnos en lo se ofreciera.

La sorpresiva noticia de su fallecimiento, deja muy tristes a los compañeros que nos ayudó como estudiantes y que ahora trabajamos en el CIBNOR. Le estaremos eternamente agradecidos ya que de alguna manera, él fue clave para dicho logro.

Te recordaremos y te llevaremos por siempre en nuestro corazón mi estimado amigo 'Goynor' (como le decíamos de cariño).

Descansa en paz donde quiera que andes estoy cierto...que sumarás grandes aventuras a tu historia de VIDA.

Con eterno agradecimiento y cariño...

shared various events in an entertaining and fun way. Some time later, due to fate, Horacio moved to another area but always told us that he would continue to be willing to support us in whatever was offered.

The surprising news of his death leaves the colleagues who helped us as students and who now work at CIBNOR very sad. We will be eternally grateful to him since in some way, he was the key to that achievement.

We will remember you and carry you forever in our hearts, my dear friend "Goynor" (as we affectionately called him).

Rest in peace wherever you go I am certain ... that you will add great adventures to your LIFE story.

With eternal gratitude and friendship ...

In Memoriam

M. en C. José Juan Pérez Navarro



Por Aurora Breceda

El pasado 11 de octubre recibimos la noticia del fallecimiento de nuestro compañero y amigo José Juan Pérez Navarro, gran colaborador y cálida persona cuya pérdida conmovió a nuestra comunidad cibeña.

José Juan Pérez Navarro nació el 27 de marzo de 1969 en la Ciudad de México, estudió biología en la Universidad Nacional Autónoma de México. Su primer contacto con el CIBNOR fue a través del Dr. José Luis León de la Luz con quien desarrolló su tesis de licenciatura sobre la Vegetación de ambientes costeros en la Región del Cabo (1995), su experiencia y conocimiento florístico le permitió ingresar formalmente al CIBNOR en el año 1996 desempeñándose como Técnico en el Herbario Anetta Mary Carter del CIBNOR (HCIB), y junto con Reymundo Domínguez Cadena, Don Miguel Domínguez León y José Luis León de la Luz recorrieron los más remotos rincones de esta media península.

On October 11, we received the news of the death of our colleague and friend José Juan Pérez Navarro, a great collaborator and warm person whose loss moved our Cibnor Community.

José Juan Pérez Navarro was born on March 27, 1969 in Mexico City, he studied biology at the National Autonomous University of Mexico. His first contact with CIBNOR was through Dr. José Luis León de la Luz, with whom he developed his undergraduate thesis on the Vegetation of coastal environments in the Cape Region (1995), his experience and floristic knowledge allowed him to formally enter the CIBNOR in 1996 working as a Technician at the CIBNOR Anetta Mary Carter Herbarium (HCIB), and together with Reymundo Domínguez Cadena, Don Miguel Domínguez León and José Luis León de la Luz they toured the most remote corners of this half peninsula.

In 2001 he obtained his Master of Science in the Use, Management and Preservation

En el año 2001 obtuvo su Maestría en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales con orientación en Ecología de Zonas Áridas, en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. con su investigación sobre el género *Bursera* en la Península de Baja California. Su aportación taxonómica sobre este género, torotes y copales, ha sido de gran relevancia ya que se logró definir la riqueza específica de este género y la descripción de nuevo hallazgos.

Desde 2009 participó como docente del programa de cursos de Maestría de la Dirección de Posgrado del CIBNOR y colaboró como Técnico Titular "C" en el Laboratorio de Análisis Espacial, Ecología y Conservación del Programa de Planeación Ambiental y Conservación al lado del Dr. Ricardo Rodríguez Estrella quien fuera su director en el doctorado que José Juan llevaba a cabo en la Universidad de Alcalá de Henares, España.

A lo largo de su trabajo profesional José Juan participó como autor y coautor en 21 publicaciones científicas, y colaboró en más de 17 proyectos (tres de los cuales fueron dirigidos por él) sobre temas de florística, taxonomía y ecología vegetal. También participó en 27 estudios técnicos sobre ecología, ordenamiento territorial e impacto ambiental. En su trabajo

of Natural Resources with an orientation in Arid Zones Ecology, at the Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. with his research on the genus *Bursera* in the Baja California Peninsula. His taxonomic contribution on this genus, torotes and copals, has been of great relevance since it was possible to define the specific richness of this genus and the description of new findings.

Since 2009 he has participated as a teacher in the CIBNOR Graduate Directorate Master's program of courses and collaborated as Titular Technician "C" in the Laboratory of Spatial Analysis, Ecology and Conservation of the Environmental Planning and Conservation Program alongside Dr. Ricardo Rodríguez Estrella who was its director in the doctorate that José Juan carried out at the University of Alcalá de Henares, Spain.

Throughout his professional work, José Juan participated as author and co-author in 21 scientific publications, and collaborated in more than 17 projects (three of which were directed by him) on floristics, taxonomy and plant ecology. It also participated in 27 technical studies on ecology, land use planning and environmental impact. In his academic work, José Juan contributed to the floristic knowledge of Baja California Sur and in recent years his most relevant contributions were directed to the

académico José Juan contribuyó sobre el conocimiento florístico de Baja California Sur y en los últimos años sus aportaciones más relevantes estuvieron dirigidas al conocimiento y extracción de especies exóticas invasoras, muy particularmente en los oasis y humedales de Baja California.

Además de un excelente colega, José Juan convivió con muchos de los miembros del Programa de Planeación Ambiental y Conservación, numerosas jornadas de campo y aventuras de naturaleza, siempre amable y conciliador. Lo recuerdo con una gran pasión por el arte, la cultura, el buen comer y el buen vino, le encantaban las tertulias bohemias. Y siempre con un enorme compromiso por la conservación de la naturaleza, un profesional comprometido y activo para la sociedad. Le sobreviven su esposa Blanca Romero Arredondo y su hija Cecilia Pérez Romero, grandes amores en la vida de nuestro querido amigo José Juan Pérez Navarro.

En Paz Descanse nuestro querido amigo quien ha dejado huella en el conocimiento florístico y vegetación de la región, y en los corazones de amigos y colaboradores.

knowledge and extraction of invasive alien species, particularly in the oases and wetlands of Baja California.

In addition to being an excellent colleague, José Juan lived with many of the members of the Environmental Planning and Conservation Program, numerous field trips and nature adventures, always friendly and conciliatory. I remember him with a great passion for art, culture, good food and good wine, he loved bohemian gatherings. And always with a huge commitment to the conservation of nature, a committed and active professional for society. He is survived by his wife Blanca Romero Arredondo and his daughter Cecilia Pérez Romero, great loves in the life of our dear friend José Juan Pérez Navarro.

Rest in Peace our dear friend who has left his mark on the floristic knowledge and vegetation of the region, and on the hearts of friends and collaborators.

In memoriam

M. en C. Mario Arce Montoya



*"Amante de la fotografía,
la ciencia, el buen vino y
el pensamiento crítico"*

*"Lover of photography,
science, good wine and
critical thinking"*

Por Gracia Gómez-Anduro

Maestro en Ciencias, Mario Arce Montoya, hombre modesto, de principios e integridad firme, congruente y fiel a su ideología de izquierda. Siempre atento, serio, medurado y cuidadoso en el hablar y expresar de sus valiosas frases sustentadas en argumentos comprobables.

Enfrentaste pacíficamente numerosas injusticias, trabajando siempre hombro a hombro para buscar las mejores soluciones. Un hombre que en su andar por esta vida estableció los principios de la Biotecnología Vegetal en CIBNOR y cuyos frutos de investigación siguen creciendo en cada uno de sus "hijos académicos". Que difícil dejar ir tantas ideas apenas germinadas, difícil rescatar las historias no contadas.

Master of Science, Mario Arce Montoya, a modest man of principles and firm integrity, congruent and faithful to his leftist ideology. Always attentive, serious, measured and careful in speaking and expressing his valuable phrases supported by verifiable arguments.

You peacefully faced numerous injustices, always working shoulder to shoulder to find the best solutions. A man who, in his walk through this life, established the principles of Plant Biotechnology at CIBNOR and whose research fruits continue to grow in each of his "academic children". How difficult to let go so many barely germinated ideas, difficult to rescue the untold stories.

Mario Arce Montoya, committed son, responsible and present brother, dear and reserved friend. Those of us who knew you

Mario Arce Montoya, hijo comprometido, hermano responsable y presente, amigo entrañable y reservado. Quienes te conocimos sabemos lo valioso de tu gran corazón, la capacidad de dar, ayudar, apoyar y brindar palabras de aliento. Siempre centrado, con los pies puestos en la tierra para dialogar y llegar a acuerdos en temas difíciles. Un hombre como pocos, de mirada transparente pero profunda, como intentando buscar las respuestas desde el fondo de su alma a la suya.

Hiciste de tu casa un hogar para muchos estudiantes con dificultades económicas para mantenerse en sus estudios, un techo para muchos amigos y un espacio de expresión para todo tipo de opinión. Bohemio, reservado y sencillo en su vida diaria, pero lleno de ideas revolucionarias que bien podrían haber opacado a muchos amantes de los reflectores, pero no era tu estilo. Siempre apoyando desde atrás, donde nadie mira, redactando hojas de debate y material que diera para discusión científica, política y personal.

Un amigo de esos que saben ser auténticos y defienden su ideal, un amigo que respeta opiniones diversas sin descuidar la suya propia, un amigo que se fue en cuerpo pero que nos dejó el alma como sello distintivo de cada una de sus obras: Ciencia, política, comunicación y un poco de arte.

know the value of your great heart, the ability to give, help, support and offer words of encouragement. Always focused, with his feet on the ground to dialogue and reach agreements on difficult issues. A man like few others, with a transparent but deep gaze, as if trying to find the answers from the bottom of his soul to his.

You made your house a home for many students with economic difficulties to support themselves in their studies, a roof for many friends and a space for expression for all kinds of opinions. Bohemian, reserved and simple in his daily life, but full of revolutionary ideas that could well have overshadowed many lovers of reflectors, but it wasn't your style. Always supporting from behind, where no one is looking, writing debate sheets and material for scientific, political and personal discussion.

A friend of those who know how to be authentic and defend their ideal, a friend who respects diverse opinions without neglecting his own, a friend who left the body but who left us his soul as the hallmark of each of his works: Science, politics, communication and a bit of art.

Mario Arce, teacher, friend, who passionately dedicated himself to the academia and politics, in both he made an effort to teach, but also to generate friendships.

Mario Arce, maestro, amigo, que con pasión se dedicó a la academia y a la política, en ambos se esforzó en enseñar, pero también en generar amistades.

Siempre perfeccionista, justo, crítico empezando con él. Se te echa de menos.

Always a perfectionist, fair, critical starting with him. We miss you.

