

Biología y Sociedad



Una publicación de la
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
Secretario General

Dr. Jaime Arturo Castillo Elizondo
Secretario Académico

Dr. José Javier Villarreal Tostado
Secretario de Extensión y Cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas
Director de Publicaciones

Dr. José Ignacio González Rojas
Director de la Facultad de Ciencias Biológicas

Cuerpo Editorial de Biología y Sociedad

Dr. Jesús Ángel de León González
Editor en Jefe

Dra. María Elena García-Garza
Editor Técnico

Editores adjuntos:

Dr. Juan Gabriel Báez-González
Alimentos

Dr. Sergio I. Salazar-Vallejo
Dra. Evelyn Patricia Ríos-Mendoza
Dr. Marco Antonio Alvarado-Vázquez
Biología Contemporánea

Dr. José Ignacio González-Rojas
Dr. Eduardo Alfonso Rebollar-Téllez
Dr. Erick Cristóbal Oñate-González
Ecología y Sustentabilidad

Dr. Reyes S. Tamez-Guerra
Dr. Jorge Enrique Castro-Garza
Dr. Iram P. Rodríguez-Sánchez
Salud

Dr. Sergio Arturo Galindo-Rodríguez
Dra. Ana Laura Lara-Rivera
Biotecnología

Jorge Ortega Villegas
Diseñador Gráfico

M. C. Alejandro Peña Rivera
Desarrollo y Diseño Gráfico, Web

Ing. Jorge Alberto Ibarra Rodríguez
Página web

BIOLOGÍA Y SOCIEDAD, año 7, No. 13, primer semestre de 2024, es una publicación semestral editada por el Universidad Autónoma de Nuevo León, a través de la Facultad de Ciencias Biológicas. Av. Universidades/s/n, Cd. Universitaria San Nicolás de los Garza, Nuevo León, www.uanl.mx, biologiyasociedad@uanl.mx, Editor responsable: Dr. Jesús Ángel de León González. Número de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-060914413700-203; ISSN 2992-6939. Ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. **Queda prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido de la publicación sin previa autorización.**

CONTENIDO

EVOLUCIÓN DE LA SELECCIÓN SEXUAL EN LA NATURALEZA: UN VISTAZO A LA IGNORADA SELECCIÓN SEXUAL FEMENINA	4
CÓDIGO DE BARRAS DE LA VIDA, UNA HERRAMIENTA PARA CONOCER Y CONSERVAR LA BIODIVERSIDAD	15
APUNTES SOBRE LA PRESENCIA DE LA VÍBORA DE CASCABEL DE LAS ROCAS TAMAULIPECA (<i>CROTALUS MORULUS</i>) EN TAMAULIPAS	22
GARRAPATA CAFÉ DEL PERRO: EL HUÉSPED DE TU MASCOTA NO DESEADO	38
“LA VIDA EN LA ZONA INTERMAREAL: ADAPTACIONES EN UN ECOSISTEMA CAMBIANTE”	48
MORTANDAD MASIVA DE PAPAS DE MAR EN TOPOLOBAMPO TRAS EL PASO DEL HURACÁN NORMA (TUNICATA: <i>POLYCLINUM CONSTELLATUM</i>)	63
<i>BACILLUS</i> : UNA BACTERIA VERSÁTIL, MULTIFUNCIONAL Y AMPLIAMENTE APLICADA	73
VACUNAS PARA COVID-19 BASADAS EN ADENOVIRUS	82
DRA. MARÍA JULIA VERDE STAR: UNA VIDA DEDICADA A LA CIENCIA	88
IN MEMORIAM	90

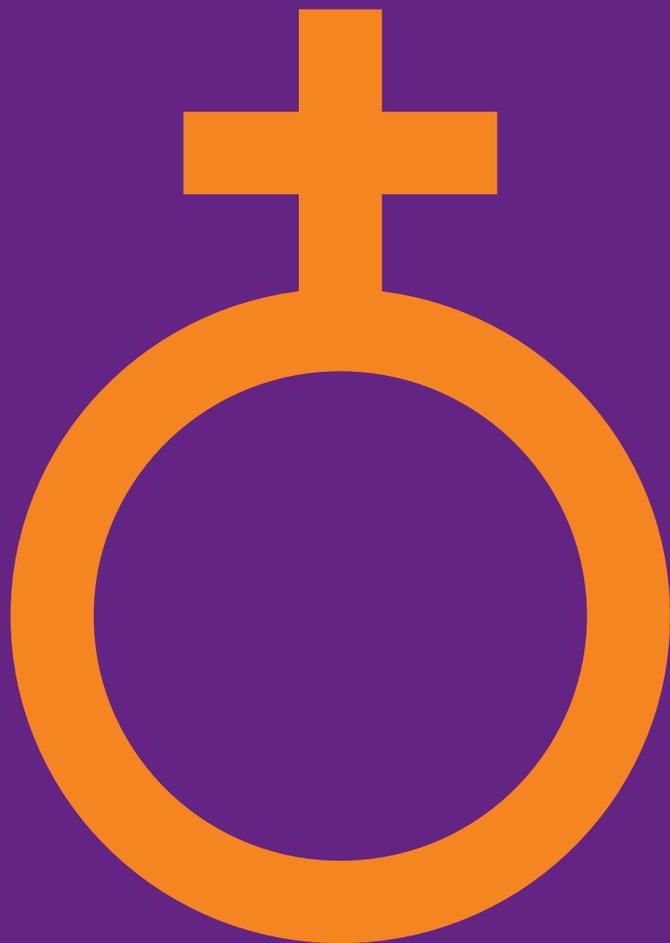
El Comité Editorial de Biología y Sociedad se siente muy agradecido con la Dra. Martha Guerrero Olazarán quien fungiera entusiastamente como Editor Adjunto del área de Biotecnología desde el inicio de nuestra revista, le deseamos el mayor de los éxitos en la nueva etapa que acaba de emprender. Por otra parte, le damos la bienvenida a nuevos integrantes de este Comité Editorial como Editores Adjuntos a la Dra. Ana Laura Lara Rivera en el área de Biotecnología, el Dr. Jorge Enrique Castro Garza en el área de Salud y el Dr. Marco Antonio Alvarado Vázquez en el área de Biología Contemporánea.

En este decimotercer número de Biología y Sociedad compartimos con nuestros lectores una serie de artículos de diversa índole, iniciando con una visión sobre la evolución de la selección sexual en la naturaleza, puntualizando la selección críptica femenina. En otro artículo, los autores nos hablan del Código de barras de la vida como una herramienta para el conocimiento y conservación de la biodiversidad. La tercera aportación viene con información que nos describe la relevancia de la bacteria *Bacillus*, su importancia en diversos ámbitos científicos y tecnológicos. Tras un fenómeno natural que ocurrió en el Pacífico mexicano, el huracán Norma en octubre de este 2023, se evidenció la presencia masiva de una ascidia exótica invasora en el puerto de Topolobampo, los autores de este artículo nos explican el suceso. Pocos ambientes tan heterogéneos y mega diversos como la zona intermareal rocosa, en este artículo, los autores hablan sobre las adaptaciones de las diversas especies a cambios extremos en las condiciones ambientales de este ecosistema. Otro trabajo interesante habla sobre la biología de la garrapata café del perro, un hematófago común en estas mascotas, así como su relevancia como vector en el área médica y veterinaria debido a los patógenos que transmite. Más adelante, nos hablan sobre la creación de vacunas en base a vectores virales contra el covid-19, y como la pandemia pasada trajo un gran avance en la tecnología de la salud. La presencia de la víbora de cascabel de las rocas tamaulipeca es evidenciada de manera anecdótica, así como las diversas especies que conforman la herpetofauna asociada al hábitat de esa serpiente. Los autores de este trabajo observaron graves problemas ambientales en las zonas de estudio donde realizaron este trabajo. Recientemente, una destacada profesora e investigadora del área de la química de plantas se retiró después de más de 40 años de intensa labor científica y en la formación de recursos humanos, de una forma amena, en este trabajo el autor realiza una entrevista a la Dra. María Julia Verde Star como un sencillo homenaje a su labor académica, administrativa y social. Por último, en este Decimotercer Número de Biología y Sociedad, se rinde un sentido homenaje a nuestro colega el Dr. Miguel Angel Cruz Nieto, integrante de nuestra comunidad, incansable activista ecológico, quien muy lamentablemente se nos adelantó en el camino en este 2023. Biología y Sociedad agradece la generosidad y sensibilidad de quien escribió este In Memoriam.

Como siempre, la publicación de este Decimotercer Número de Biología y Sociedad no podría ser posible sin el apoyo de los autores que nos hacen llegar sus manuscritos, los revisores anónimos y los integrantes del Comité Editorial, a todos ellos, muchas gracias por su confianza y soporte.

Sinceramente.

 DR. JESÚS ÁNGEL DE LEÓN-GONZÁLEZ
Editor en Jefe



EVOLUCIÓN DE LA SELECCIÓN SEXUAL EN LA NATURALEZA:

UN VISTAZO A LA
IGNORADA SELECCIÓN
SEXUAL FEMENINA

/// JOSÉ JUAN RENDÓN HERRERA¹, NANCY CLAUDIA SAAVEDRA SOTELO^{1,2}

¹Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México. C.P.:82000.

²Investigadoras e Investigadores por México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ciudad de México. C.P.: 03940.

RESUMEN

Desde que Darwin emprendiera su travesía en el Beagle, hace casi 200 años, y se maravillara con las múltiples estrategias de cortejo, han habido grandes avances en el estudio de la selección sexual. Estos avances han permitido abandonar, en cierta medida, la visión androcentrista de la época victoriana en la que comenzó el campo de estudio del comportamiento reproductivo. Sin embargo, hoy en día esta visión sigue teniendo influencia en las hipótesis que se formulan al respecto. Esta problemática ha sido señalada solo recientemente, por lo que, las diferentes propuestas para su resolución concurren en la urgencia de una perspectiva holística, que necesariamente debe incluir el punto de vista femenino y *queer*. En este ensayo exploramos la selección críptica femenina desde un punto de vista evolutivo, considerando mecanismos, procesos y resultados de algunos estudios que han llevado a entender la selección sexual de dos formas: como un resultado adaptativo o simplemente como resultado de una coevolución.

ABSTRACT

Since Darwin set his journey on the Beagle nearly 200 years ago, and became marveled with multiple courtship strategies, there have been great advances in the sexual selection field. These advances have permitted to quit, to some extent, the conservative vision of the Victorian era in which the study of reproductive behavior began. Nevertheless, today the androcentric vision of the past era continue to influence the hypotheses formulated in this regard. This problem has been pointed out recently, thus the different proposals for its resolution concur in the urgency for a holistic perspective, which must necessarily include the feminine and *queer* point of view. In this essay, we explore the female cryptic choice from an evolutionary point of view, considering mechanisms, processes, and results of some studies that have led the sexual selection to be understood in two ways: as an adaptive result or simply as a result of coevolution.



Palabras clave: cortejo; selección críptica femenina; preferencias; conflicto intralocus; conflicto interlocus; coevolución antagónica.

KEYWORDS: courtship, female cryptic choice, female preferences, intralocus conflict, interlocus conflict, antagonistic coevolution.

INTRODUCCIÓN

El etólogo Richard Dawkins, en su libro *El gen egoísta: las bases biológicas de nuestra conducta* (1976), invita a hacer un ejercicio reflexivo sobre a qué o quién le asignamos la categoría de macho o hembra. El debate de buenas a primeras parece de resolución sencilla; sin embargo, recuerda a la mitificada ocasión en que Platón definió al hombre como un bípedo sin plumas, para luego ser interrumpido por Diógenes quien desplumó a un pollo y lo presentó ante la academia gritando: “¡Ahí os traigo un hombre!” De la misma manera, Dawkins invita a ignorar nuestras preconcepciones sobre la biología reproductiva, revelando que el criterio para establecer esta dicotomía puede no estar a simple vista. Cotidianamente pensamos en algunos rasgos como “característicos” de un sexo, por ejemplo, podríamos reducir todo a la presencia o ausencia de un pene para diferenciar entre machos y hembras. Así, el macho sería el sexo que lo presenta y la hembra el sexo donde el órgano está ausente. Sin embargo, existen grupos de organismos donde las hembras presentan un pene o al menos una estructura similar. Tal es el caso de algunos insectos en donde las hembras poseen un órgano intromitente que cumple la función de anclarla a una cavidad del macho (Yoshizawa *et al.*, 2014). Además, es quizás conocido el caso de las hienas, donde las hembras presentan un pseudopene por donde incluso dan a luz a sus crías (Hamilton *et al.*, 1986). Para Dawkins la diferencia tampoco reside en los cromosomas sexuales, observación válida ya que actualmente se sabe de individuos con cromosomas sexuales XY que al mismo tiempo exhiben características típicas de un cuerpo femenino (Tamar-Mattis, 2006).

Entonces, si no existe una característica física perceptible para discernir entre sexos, ¿qué los diferencia? Dawkins en realidad se sirve de un criterio sencillo, pero sumamente efectivo, que además se puede aplicar tanto en plantas como en animales. El macho será cualquiera de los dos sexos que produzca una mayor cantidad de gametos a un costo energético relativamente bajo, mientras que la hembra será el sexo que invertirá más energía en la producción de gametos, los cuales serán limitados en la mayoría de los casos. Es aquí donde comienza un conflicto intersexual en donde ambos

sexos buscarán maximizar su éxito reproductivo. Debido al menor costo energético de sus gametos, los machos de cualquier especie pueden maximizar su éxito reproductivo simplemente asegurando la mayor cantidad posible de apareamientos (Bateman, 1948). Mientras que las hembras deben lidiar con el gasto energético de la gestación u ovoposición, además, en muchos casos con la crianza de la progenie. En este punto podemos visualizar una aparente desigualdad entre machos y hembras, por lo que, es aquí donde intervienen una serie de mecanismos selectivos de ambos sexos antes y después del apareamiento, como estrategia para maximizar sus éxitos reproductivos.

SELECCIÓN SEXUAL:

UNA CARRERA ARMAMENTISTA ENTRE SEXOS

La diferencia entre los gametos masculinos y femeninos recibe el nombre de anisogamia, la cual está asociada a una divergencia entre los intereses de machos y hembras (Chapman *et al.*, 2003). Esta divergencia puede asumirse como parte de un “conflicto sexual” (Parker, 1979), que típicamente se describe como una correlación antagónica de la aptitud entre los sexos, es decir circunstancias óptimas para un sexo son perjudiciales para el otro. El conflicto sexual puede ocurrir de dos formas principales: 1) conflicto *intra*locus (Fig. 1), cuando existen diferentes rasgos óptimos para un rasgo común que expresan ambos sexos; y 2) conflicto *inter*locus (Fig. 2), cuando ambos sexos tienen capacidades distintas para la reproducción, por lo que, invierten recursos de forma desproporcional (Chapman *et al.* 2003; Martjin *et al.*, 2018); estos conflictos derivan en una carrera armamentista entre los sexos (Dawkins, 1976; Parker, 1979). En esta carrera, las hembras buscarán “rasgos honestos” que les permitan evaluar la calidad de las parejas potenciales al tener una relación directa con la aptitud de los machos (Pomiankowski, 1987; Zahavi, 1977); mientras que estos últimos buscarán aparearse a toda costa, llamando la atención de las hembras mediante rasgos que no necesariamente son “honestos” (ornamentaciones que suelen ser armas para competir con otros machos, e incluso para forzar a las hembras a copular; Pradhan y Van Schaik, 2009). Dado que las hembras buscarán estos “rasgos honestos”, la primera barrera que debe de ser sorteada por los machos es la del cortejo, el momento en el que las hembras evalúan sus capacidades como pareja.

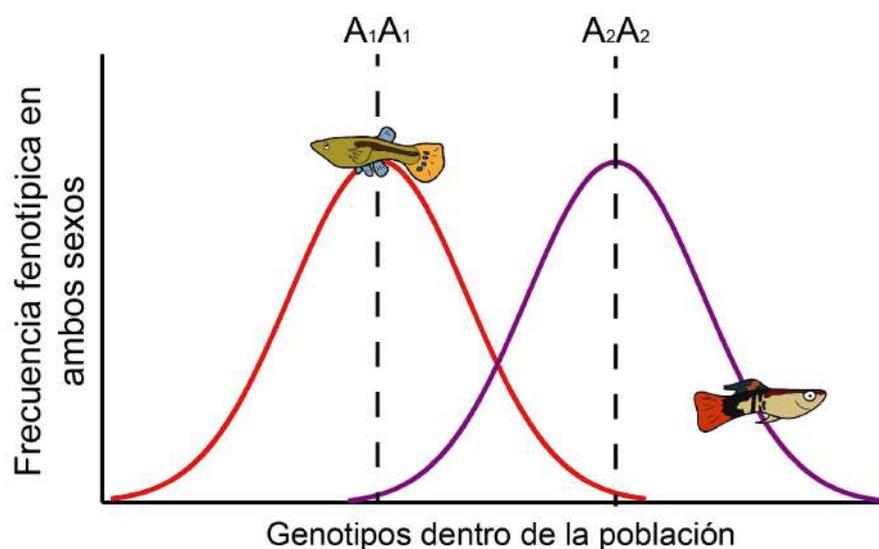


Figura 1. Esquema de un conflicto intralocus en una especie de poecílido. En el eje X se presentan los genotipos posibles en la coloración de hembra y macho. En el eje Y y ordenadas la frecuencia fenotípica del rasgo asociado con el genotipo de las hembras y machos. La curva roja representa la frecuencia para hembras y la morada para machos. En la cima de ambas curvas se representa el genotipo asociado con el óptimo fenotípico para cada sexo, obsérvese que la hembra se encuentra en su óptimo, mientras el macho se encuentra fuera de él. Modificado de Martjin *et al.* (2018).

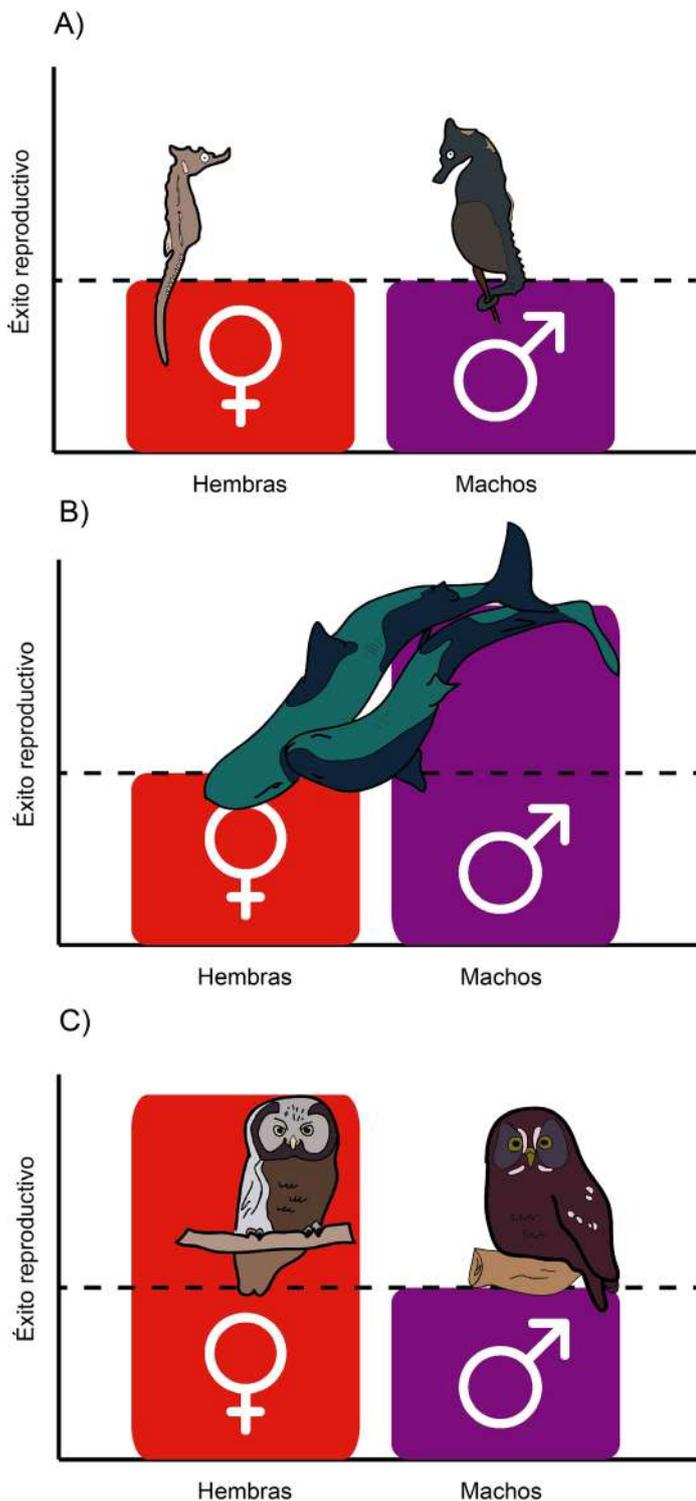


Figura 2. Esquema del conflicto interlocus en vertebrados. A) Una especie de caballito de mar, *Hippocampus whitei*, en donde el macho incubaba los huevos que son depositados dentro de una estructura especializada (Stölting y Wilson, 2007). Se ha demostrado que en esta especie tanto machos como hembras se ven beneficiados de forma equitativa por un comportamiento monógamo, ya que esto deriva en un aumento en la fecundidad de ambos (Vincent, 1994). Aunado a esto, el costo energético del cuidado de las crías es llevado por el macho, mientras que el costo de la producción de gametos de la hembra es mucho mayor al del macho. Es por ello que, para efectos prácticos, el éxito reproductivo en ambos sexos es similar B) En general, el apareamiento en los elasmobranquios suele ser un proceso energéticamente costoso para las hembras, donde los machos muerden sus aletas para inducir las a copular (Byrne y Avise, 2012; DiBattista *et al.*, 2008). Aunque la SCPF permite que las crías de las hembras sean engendradas solo por los mejores candidatos (Fitzpatrick *et al.*, 2012), el costo energético en este proceso es desproporcional y es la hembra quien asume su mayor parte durante la gestación y el parto (Lyons *et al.*, 2021). C) En el caso del búho boreal, *Aegolius funereus*, las hembras abandonan el nido para aparearse con la mayor cantidad de parejas posibles, dejando a los machos al cuidado de las crías (Eldegard y Sonerud, 2009). Por lo tanto, es el macho quien asume el costo del cuidado parental, mientras que la hembra maximiza su éxito reproductivo con la estrategia del abandono.

Para entender la idea anterior, resulta útil volver a un ejemplo propuesto por Dawkins (1976) en *La batalla de los sexos* de su obra antes mencionada. Pensemos en dos tipos de hembras y dos tipos de machos en una población; están las hembras “esquivas”, que harán pasar a los machos por un proceso de cortejo antes de la cópula, mientras que las hembras “fáciles” no lo harán. Por otra parte, pensemos en machos “fieles” que estarán dispuestos a pasar por el proceso de cortejo y cuidado de las crías, mientras que los “galanteadores” intentarán asegurar el máximo de apareamientos al menor costo, no estarán dispuestos a pasar por el proceso de cortejo. Utilizando valores hipotéticos como lo propone Dawkins, podríamos asumir que la crianza exitosa de un hijo tiene una ganancia de +15 puntos, mientras que el costo energético de la crianza es de -10 y la penalización por un cortejo prolongado es de -3.

Si consideramos una población donde solo hay machos fieles y hembras esquivas, habrá una ganancia de +15 por la crianza, una pérdida en términos energéticos derivada del cortejo de -3 y del subsecuente cuidado parental de -10; por lo tanto la ganancia neta individual de tener un hijo sería de +2. Si una hembra fácil lograra infiltrarse, esta tendría un éxito excepcional ya que no gastaría energía ni tiempo en el proceso del cortejo (0), aunque si incurriría en el gasto del cuidado parental (-10), por lo tanto, el éxito de esta hembra podría expresarse como el resultado de +5. Si este comportamiento es hereditario, dado que el puntaje es mayor, en la siguiente generación habría un exceso de hembras fáciles que tomarían provecho de los machos fieles. En este escenario, si un macho galanteador se infiltrara, podría aparearse con tantas hembras como deseara, ya que las hembras fáciles no evalúan el cortejo (0) y no incurrirían en el gasto del cuidado parental (0), por lo que su éxito podría expresarse como un +15. Finalmente, si este macho galanteador se encontrara con una hembra esquivas no habría consecuencias para ninguna de las dos partes, la hembra no cederá si no hay cortejo y el macho ni siquiera se molestará en cortejar.

Aunque el ejemplo es en realidad bastante reduccionista, permite entender cómo el cortejo es la primera estrategia a la que recurren las hembras para seleccionar a los machos. Sin embargo, en la naturaleza el comportamiento es más complejo y en algunas especies no existe un cortejo como se espera, los machos tienden a buscar el apareamiento a como dé lugar, dando como resultado cópulas coercitivas en algunas especies, por lo que las hembras no siempre logran evadir a un macho al que no consideran buen candidato para engendrar a sus crías (Smuts y Smuts, 1993). Es entonces que las hembras recurren a estrategias alternas que les permitan discernir entre machos después de las cópulas, a esto se le conoce como selección sexual críptica post-copulatoria (Firman *et al.*, 2017).

SELECCIÓN SEXUAL CRÍPTICA FEMENINA:

LA SELECCIÓN SEXUAL FEMENINA IGNORADA

Si el macho logra sortear la barrera del cortejo, a pesar de no ser el mejor candidato de acuerdo con los criterios de la hembra, como sucede en los apareamientos

coercitivos, la hembra aún puede recurrir a toda una gama de mecanismos fisiológicos que tienen lugar en el aparato reproductor después del apareamiento (Firman *et al.* 2017), estos procesos reciben el nombre de Selección Críptica Post-Copulatoria Femenina (SCPF; Thornhill, 1983). Para entender mejor la SCPF, primero hay que considerar que los beneficios a los que accedería una hembra mediante estos mecanismos son exclusivamente una forma de maximizar la aptitud de su progenie, en otras palabras, beneficios genéticos (Firman *et al.* 2017). Lo anterior se ha condensado en algunas hipótesis como la denominada *hipótesis de los genes buenos*, la cual propone que las hembras se aparean con varios machos para asegurar la fertilización de sus huevos con los mejores candidatos, en términos de calidad genética (Yasui, 1997). Este escenario implica que las hembras realizan una selección de gametos mediante estrategias fisiológicas que ocurren en el aparato reproductor, por ejemplo, mediante la aceptación o eyección del esperma (Firman *et al.* 2017). En el gallo doméstico se ha observado que las hembras tienen la capacidad de eyectar el esperma de los machos de menor jerarquía social (Dean *et al.* 2011; Pizzari y Birkhead, 2000). Así como en algunos primates, el grado de aceptabilidad del esperma está asociado con el orgasmo femenino, en el caso del macaco japonés, se ha observado que las hembras presentan más orgasmos cuando se aparean con machos socialmente dominantes (Troisi y Carosi, 1998). En aves, en algunas gaviotas se ha observado que las hembras pueden eyectar el esperma "viejo" almacenado dentro del aparato reproductor como una medida preventiva ante cualquier efecto negativo para la progenie (Wagner *et al.* 2004).

Si a pesar de esto, el esperma de los machos "indeseables" escapa la eyección y otros mecanismos de incapacitación, aún puede pasar por un proceso de mezcla y estratificación con el esperma de otros machos y deberá competir con el esperma almacenado para evitar su desplazamiento (Firman *et al.* 2017). Además, se ha observado que la complejidad en la morfología del aparato reproductor femenino y/o de estructuras especializadas en el almacenamiento de esperma, podría influenciar el grado en que el esperma se almacena o se utiliza (Eberhard, 1996; Firman *et al.* 2017). Por ejemplo, la mosca de la fruta presenta una presión selectiva sobre la longitud del esperma, ya que los espermatozoides largos se almacenan mejor en los receptáculos de las hembras que suelen ser igualmente largos (Miller y Pitnick, 2002).

Estas estrategias femeninas promueven respuestas por parte de los machos, las cuales permiten cruzar estas barreras post-copulatorias. Complementando esta última idea surge la *hipótesis del esperma sexi*, la cual propone que los machos que son exitosos en una competencia espermática engendran crías que heredan esa misma calidad de competencia (Curtsinger, 1991). Esta competencia espermática se ha observado en la presencia de ciertos complejos de proteínas en el fluido seminal, los cuales les darían la posibilidad de sobrevivir al ambiente adverso que supondría el aparato reproductor femenino (Hamlett, 1999). Una vez almacenado el esperma existen factores que influyen

su eficiencia en la fertilización, como es su capacidad de nado, en la cual las hembras pueden incidir para sesgar la fertilización mediante fluidos reproductivos que modulan el nado del esperma (Firman *et al.* 2017). Por ejemplo, se ha demostrado una quimiotaxis diferencial del esperma en una especie de mejillón, en la cual los quimio-atradores en el fluido asociado a los huevos tienen un efecto sobre la migración del esperma de ciertos machos (Oliver y Evans, 2014). Además, hay secreciones del aparato reproductor femenino que pueden provocar una activación diferencial del esperma, sobre todo en especies donde el esperma debe de pasar por algunas transformaciones para lograr la fertilización (Firman *et al.* 2017); como ocurre en algunas especies de arañas, donde la estructura especializada en el almacenamiento de esperma secreta sustancias que lo liberan de sus cápsulas, lo que permite activar de manera selectiva el esperma de diferentes machos (Herberstein *et al.* 2011).

Cabe mencionar que ambas hipótesis no son mutuamente excluyentes, de hecho, son procesos que forzosamente ocurren en conjunto. Precisamente es esta sinergia entre ambos procesos (competencia espermática y SCPF) lo que dificulta el estudio de la selección sexual, por lo que durante varios años fue adjudicada solo a los machos. Se proponen dos directrices principales para demostrar que en realidad existe una selección de las hembras sobre el esperma de los machos: 1) debe de identificarse un rasgo o comportamiento femenino que afecte la utilización del esperma o, 2) debe demostrarse que la respuesta femenina favorece o desfavorece el esperma de ciertos machos con base en su genotipo o fenotipo (Firman *et al.* 2017). Las dos directrices parecen obvias, sin embargo, la dificultad para formular diseños experimentales que evalúen estos procesos y una visión reduccionista han obstaculizado el avance en los estudios de la SCPF (Lyons *et al.* 2021).

Aunado a la dificultad de formular experimentos que evalúen la SCPF, surge la discusión respecto a si las estrategias de SCPF son resultado de un proceso adaptativo en lugar de ser azarosas. Hasta el momento parece lógico pensar que son un proceso adaptativo, después de todo, las hembras buscan maximizar su éxito reproductivo utilizando diversas estrategias que sesguen la paternidad de los machos. El problema con esta idea de adaptación, por más lógica que parezca, es que lleva a la conclusión errónea, donde se asume que las hembras de alguna forma son conscientes de la ocurrencia de estos procesos. Al respecto, recientemente Rosenthal y Ryan (2022) han abordado esta discusión, proponen que es poco probable que sea un resultado de adaptación, ya que las hembras no van sobre los beneficios de aparearse con un tipo de macho particular, sino que ellas atienden señales que sencillamente estimulan sus órganos periféricos, como podrían hacerlo los colores, sonidos o olores llamativos. De acuerdo con esta controversia, para explicar la SCPF existen dos ideas: 1) la SCPF es adaptativa y ha evolucionado específicamente debido a los beneficios que conlleva el controlar la utilización del esperma o, 2) la SCPF no es adaptativa, es un efecto secundario de otros rasgos adaptativos de los que se sirven las hembras para seleccionar pareja (Firman *et al.* 2017).

Recientemente se ha señalado la necesidad de abordar los estudios de comportamiento reproductivo con un enfoque holístico (Lyons *et al.* 2021). Es posible que esta perspectiva se alcance mediante la síntesis, al menos en parte, de las ideas 1) y 2) planteadas en el párrafo anterior; es decir, un rasgo puede ser adaptativo para un fin diferente a la SCPF, pero este rasgo puede generar un subproducto que pueda favorecer la SCPF. Valdría la pena redondear esta idea con un ejemplo: en el aparato reproductor de algunas especies de elasmobranquios usualmente se encuentra diferenciada una estructura denominada glándula oviducal (Hamlett y Koob, 1999). En esta estructura ocurre la fertilización de los ovocitos de la hembra (Hamlett *et al.* 2002) y dependiendo de su complejidad, permite el almacenamiento de esperma durante un periodo de tiempo determinado (Conrath y Musick, 2002; Pratt, 1993). Además de almacenar esperma, se ha propuesto que esta estructura posiblemente les permita a las hembras “seleccionarlo”, dándoles la oportunidad de elegir a aquellos machos de mejor calidad para engendrar a sus crías (Dutilloy y Dunn, 2020, Tárula-Marín y Saavedra-Sotelo, 2021). En este sentido, la utilización no azarosa del esperma sería un subproducto de otro rasgo adaptativo, el almacenamiento en sí, ya que la hembra no elige de forma consciente a los machos con los que se aparea. El resultado de este proceso es un sesgo en el éxito reproductivo masculino observado en varias especies (Lyons *et al.*, 2021). Como evidencia de esto, diversos estudios reportan paternidad múltiple en camadas de varias especies de tiburones y rayas, en donde existe un

macho que domina la paternidad de los embriones, tal es el caso del tiburón marrón *Mustelus henlei* (Fig. 3; Rendón-Herrera *et al.*, 2022).

Aun cuando podría haber varios rasgos similares al mencionado en el párrafo anterior, el estudio sobre la SCPF suele ser un campo dominado por hombres intentando explicar el comportamiento reproductivo femenino (Lyons *et al.*, 2021). Esto inadvertidamente ha imprimido una serie de preconcepciones y sesgos ideológicos que dificultan el avance en este campo, llevándonos a explicaciones donde el macho es el protagonista y la hembra juega un papel secundario y pasivo (Firman *et al.* 2017; Lyons *et al.* 2021; Rosenthal y Ryan, 2022). Para entender este sesgo es necesario remontarnos a la historia del estudio de la selección sexual, específicamente al estudio de las “preferencias”.

DARWIN Y LA SELECCIÓN SEXUAL: NATURALISTA PRODUCTO DE SU TIEMPO

El estudio de la selección sexual definitivamente comenzó con Darwin hace casi 200 años, en su famosa travesía a lo largo del hemisferio sur a bordo del *Beagle*. Durante su viaje notó las diferencias entre machos y hembras de varias especies de aves; principalmente que los machos cortejaban a las hembras con diversos rituales en donde el canto y la coloración del plumaje juegan un papel fundamental, a estos rasgos los

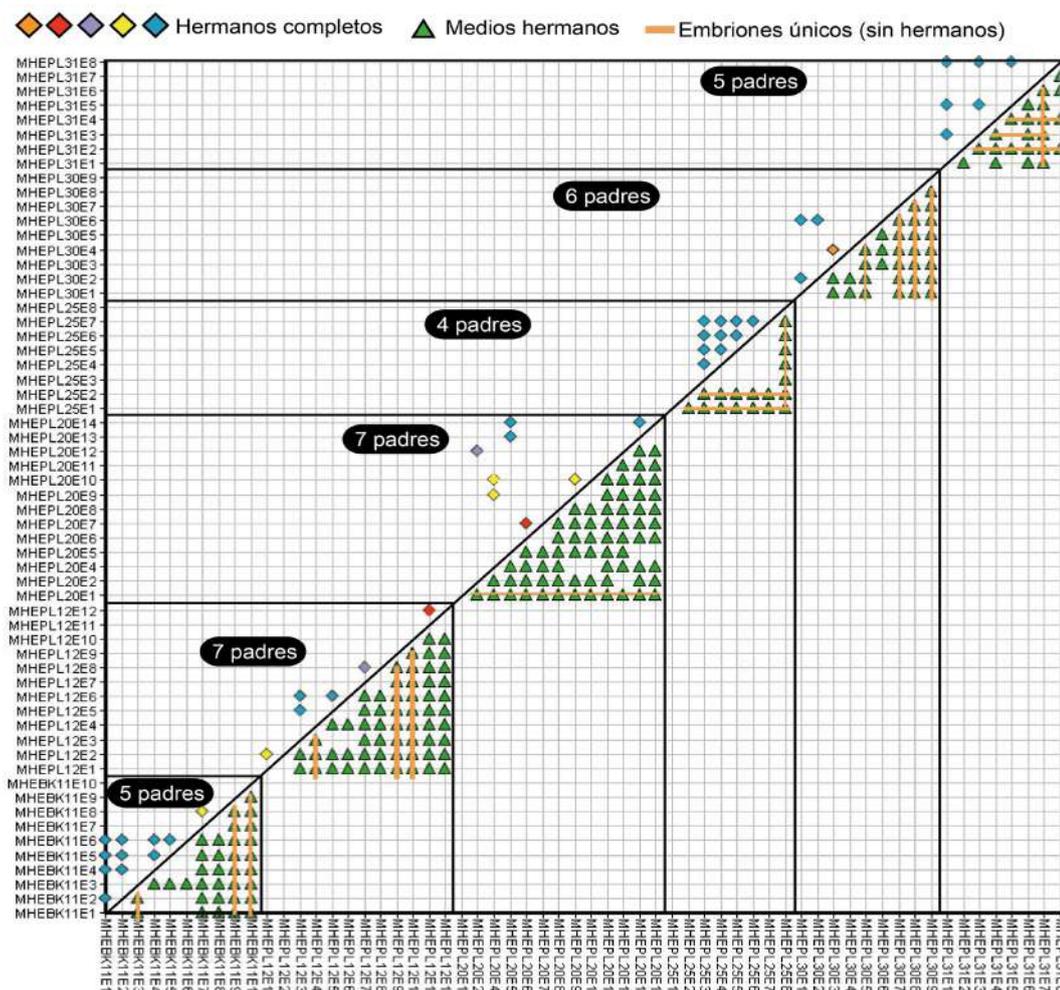


Figura 3. Relaciones de hermandad entre embriones del cazón pardo, *Mustelus henlei*, en el Golfo de California, México (Rendón-Herrera *et al.* 2022). En ambos ejes de la gráfica se muestran las claves de identificación de cada uno de los embriones correspondientes a seis camadas. Los rombos del mismo color por encima de la diagonal representan hermanos completos del mismo padre. Triángulos debajo de la diagonal representan medios hermanos de padre. Líneas anaranjadas representan embriones como hijos únicos de padre. Las líneas negras separan las camadas de cada hembra. Por ejemplo, obsérvese que el embrión MHEBK11-E7 es hermano completo de MHEBK11-E8, esta relación de parentesco está representada por un rombo de color amarillo. Por otra parte, ambos embriones son medios hermanos de MHEBK11-E1, MHEBK11-E2, MHEBK11-E4, MHEBK11-E5 y MHEBK11-E6, relación de parentesco que está señalada por los triángulos verdes. Aunado a esto, los embriones MHEBK11-E3, MHEBK11-E9 y MHEBK11-E10 son hijos únicos de un padre diferente, y a su vez medios hermanos entre sí y del resto de los embriones que componen la camada, relación representada por una línea naranja.

denominó “ornamentaciones” (Harel, 2001; Rosenthal y Ryan, 2022). Estas ornamentaciones llamaron tanto su atención que al proponer la Selección Natural como principal mecanismo evolutivo, en *El origen de las especies*, tuvo que hacer una excepción al intentar explicar la herencia de estos rasgos; después de todo un plumaje y un canto llamativos podrían afectar la capacidad de supervivencia de los machos, volviéndolos vulnerables ante los depredadores, por lo que suelen considerarse rasgos “maladaptativos” (Harel, 2001; Kirkpatrick, 1987). El naturalista entonces acuñó el término “Selección Sexual”, el cual juega un papel complementario al de la Selección Natural, ya que podría garantizar mayores oportunidades de apareamiento de un macho, bajo el costo de ser susceptible a la depredación (Cade, 1975; Ryan, 1985).

Una década después, Darwin publicó su obra el *Origen del hombre y la selección en relación al sexo*, en donde sostendría que la Selección Sexual es un mecanismo aún más importante que la Selección Natural para el proceso evolutivo. Básicamente, las hembras eligen a los machos de acuerdo a sus ornamentaciones, dándole a esta elección un “sentido de la belleza” (Harel, 2001). En su momento, estas ideas abrieron un debate; sin embargo, actualmente sabemos que la Selección Sexual se basa en la coevolución de las preferencias sobre los rasgos que podrían predecir algún tipo de beneficio para la descendencia (Rosenthal y Ryan, 2022).

El contexto histórico en el que Darwin desarrolló su vida y obra, nos muestra que su visión respecto a la selección sexual pudo ser sesgada, habiendo vivido en la Inglaterra victoriana no es difícil entender el por qué sus ideas estaban impregnadas de un androcentrismo característico de la época (Rosenthal y Ryan 2022). Es precisamente su entorno el que moldeó sus ideas, llevándolo a usar diversos eufemismos para explicar el proceso reproductivo; un clásico ejemplo fue el proceso reproductivo de las mariposas que, en palabras de Darwin, culmina en una romántica “ceremonia de matrimonio”. Esta forma conservadora de pensar hizo que Darwin ignorara comportamientos reproductivos como el sexo oral en los murciélagos y la aparente homosexualidad en las hembras del macaco japonés (Rosenthal y Ryan, 2022; Vasey, 1996).

A pesar de todo, la visión de Darwin sobre la selección sexual no necesariamente definía a las hembras como pasivas en el proceso de reproducción, en cuyo caso eran las hembras quienes separaban a los machos entre aptos y no aptos para este proceso; sin embargo, este papel activo de las hembras en el proceso de Selección Sexual parecía no aplicar a la especie humana, idea por supuesto influenciada en la noción general del valor de la mujer en la sociedad victoriana (Rosenthal y Ryan, 2022). La Selección Sexual de Darwin ocasionó un conflicto entre los naturalistas de su época y en el propio Darwin, dando como resultado diversas críticas a sus ideas en tres puntos principales: 1) ¿realmente es posible que las mujeres elijan a los hombres? Considerando que “es más probable que una mujer esconda una deformidad” (Darwin, 1871) y tomando en cuenta que son el género con más “ornamentaciones”

en cualquier cultura. 2) Aceptar que los hombres compiten por mujeres, sería aceptar que son igual de salvajes que el resto de los animales y, 3) ¿es posible que los hombres (seres que anteponen la lógica ante las emociones) sean seleccionados por las mujeres (seres enteramente emocionales)? (Harel, 2001). Estas críticas y posturas en contra de las ideas básicas de Darwin fueron las que aletargaron los avances en estudios sobre la Selección Sexual.

LAS PREFERENCIAS FEMENINAS:

¿LA SELECCIÓN SEXUAL TIENE UNA SIGNIFICANCIA ADAPTATIVA O SOLO ES EL RESULTADO DE PREFERENCIAS?

Poco más de 100 años después de que Darwin publicara el *Origen del hombre y la selección en relación al sexo*, la Selección Sexual seguía siendo un tema de controversia en la biología evolutiva. Hasta el momento, una gran cantidad de estudios realizados, principalmente en aves, habían generalizado la noción de que los sistemas de apareamiento variaban en función del espacio y de los recursos disponibles (Emlen y Oring, 1977; Kirkpatrick, 1987). Esta conclusión llevó a todo un grupo de investigadores afines a la llamada *escuela de los genes buenos*, a considerar que, si las hembras suelen preferir a los machos que proporcionan “regalos nupciales” en la forma de algún recurso valioso, era posible que además eligieran a los machos con los genotipos “mejor adaptados” a su ambiente; en contraparte, la *escuela no adaptativa* consideraba que las hembras no necesariamente prefieren a los machos “mejor adaptados” y, que los rasgos que podrían “volver atractivos” a los machos, también podrían volverlos vulnerables ante depredadores (Kirkpatrick, 1987).

Aunque podrían formarse buenos argumentos a favor o en contra de las propuestas de ambas escuelas, en esta discusión la palabra clave es “preferencia”, básicamente, aquello que lleva a las hembras a seleccionar a un macho sobre otro. Para entender cómo funcionan las preferencias, hay que entender cómo surgen los rasgos masculinos que son sujetos a estas selecciones. Abandonando la visión androcentrista, un enfoque interesante ha sido propuesto recientemente, el cual incita a olvidar nuestra noción humana de la belleza, un sesgo ideológico importante que ha impedido el avance del estudio de la Selección Sexual desde que éste surgió. Este enfoque sugiere abordar la controversia sobre el origen y función de las características que son preferidas por las hembras desde la teoría de la comunicación (Lehrman, 1965).

Simplificando esta idea, las hembras tenderán a elegir las “señales” que sean más estimulantes y más fáciles de detectar (Andersson, 1994; Ryan y Keddy-Hector, 1992). La “preferencia” por una clase de “señales” probablemente tiene poco que ver con la aptitud de los machos, en su lugar está relacionada con la capacidad de los machos para captar la atención de las hembras y mantenerla por un periodo de tiempo prolongado (Rosenthal y Ryan, 2022). Por ejemplo, no es que el llamado de las ranas, los grillos o el canto de las aves sean una invitación a copular. Por su puesto,

es la intención del macho, pero para las hembras son simplemente señales que resultan llamativas y que estimulan sus sentidos de la misma forma en que lo harían otros componentes de su ambiente. En cuyo caso, el macho explota la receptividad de la hembra hacia otras señales igualmente llamativas, pero que no necesariamente incitan al apareamiento, como por ejemplo las señales de alerta, tratando de detectar las preferencias de la hembra ante dichas señales (Wiley, 2015).

Conociendo lo anterior, podríamos preguntarnos, ¿tanto las “señales” como las “preferencias” juegan un papel importante para el éxito reproductivo?, esto nos ayudaría a entender si la SCPF tiene una significancia adaptativa. Al respecto existe una amplia discusión, hasta hace algunos años la idea más aceptada es que, si las hembras tienen la capacidad de hacer una selección no azarosa del esperma dentro del tracto reproductivo, entonces lo más lógico es que la SCPF si tiene una significancia adaptativa (Firman *et al.* 2017). Sin embargo, parece necesario recordar que la evolución no tiene un propósito, las hembras no seleccionan a las “mejores parejas” de forma consciente, a pesar de lo complejo que son los mecanismos de selección críptica, por lo tanto no debería de reducirse todo a un proceso de coevolución antagónica, ni tampoco descartar la posibilidad de que en la SCPF participen rasgos que no necesariamente estaban destinados a la elección de un padre potencial (Rosenthal y Ryan, 2022).

Hasta el momento, pareciera que la pregunta central de este apartado no tiene una respuesta concreta, aunque hay evidencia para argumentar que la SCPF tiene una significancia adaptativa, ya que les permite a las hembras generar estrategias para evitar procrear descendencia con machos subóptimos. Por otra parte, la teoría de la comunicación provee de una perspectiva que había sido ignorada desde comienzos de este debate. Quizás, sería recomendable que en estudios futuros se consideraran ambas perspectivas para ampliar nuestro entendimiento de estos procesos.

CONSIDERACIONES FINALES:

DESENREDANDO EL NUDO GORDIANO DE LA SELECCIÓN SEXUAL

El estudio de la selección sexual pasó por un cambio notorio entrada la década de los 70's, donde mujeres y personas *queer*¹ se posicionaron al frente de este campo con sus investigaciones (Rosenthal y Ryan 2022). Posterior a esa década, finalmente los estudios comenzaron a abordar preconcepciones y sesgos de la opinión pública sobre la sexualidad, tema considerado tabú hasta entonces (Ganna *et al.* 2019). Los movimientos feministas y la creciente revolución sexual permitieron aminorar el androcentrismo que plagaba el estudio de estos procesos desde los tiempos de Darwin, para que, en lugar de maravillarnos por la

belleza de los machos, nos preguntemos ¿qué es lo que los hace bellos? (Rosenthal y Ryan, 2022).

Como se discutió anteriormente, es necesario realizar estudios del comportamiento reproductivo que consideren todas las vertientes que pueden estar involucradas en la Selección Sexual. Para que esto sea posible, es necesario diseñar estrategias de muestreo y experimentos *ad hoc* para probar hipótesis formuladas adecuadamente. Lo más probable es que un solo estudio no podrá abordar todas las incógnitas; sin embargo, puede ser la punta de lanza que nos permita ir desenredando esta discusión, o esperar a que los nuevos avances en la ciencia lleguen como Alejandro Magno a cortar el *Nudo Gordiano*².

Aunado a lo anterior, es necesario que nuestras investigaciones dejen de lado la visión androcentrista, además de recomendar tener diferentes visiones dentro del tema, para tener una perspectiva menos sesgada y, evitar que nuestras preconcepciones culturales interfieran con nuestras discusiones sobre los hallazgos científicos en el tema.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos ampliamente a las instituciones que han financiado parte de las investigaciones realizadas en el Laboratorio de Ecología Molecular y Evolución (LECME), las cuales nos llevaron a la búsqueda y comprensión del tema (PROFAPI2014 No. 194; CONACyT No. 248076; PROFAPI2022 No. A2_004). El primer autor (JJRH) es becario CONACyT (No. 1154384) y estudiante de maestría del posgrado en Recursos Acuáticos de la Facultad de Ciencias del Mar (FACIMAR), de la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). JJRH estudia los efectos de los procesos crípticos poscopulatorios de las hembras en la paternidad múltiple de especies de tiburones. La segunda autora (NCSS) es profesora-investigadora de FACIMAR-UAS a través del programa “Investigadoras e Investigadores por México” de CONAHCYT (Proyecto No. 2137). NCSS es encargada del LECME de la FACIMAR-UAS y ha sido líder de los proyectos mencionados; además es una de las fundadoras de la Red Mexicana de Biología Evolutiva (ReMBE).

² La leyenda del nudo gordiano dice que en la ciudad de Gordión, en la actual Turquía, el rey Gordias en agradecimiento por ser coronado ofreció su carreta al dios Zeus, la cual estaba atada a una de las columnas del templo con una cuerda anudada de una manera enrevesada. En el nudo no se lograban ver las puntas o cabos de la cuerda, por lo que era muy difícil desenredarlo. El oráculo de la ciudad pronosticó que quien desenredara el nudo sería el dueño de todo Oriente. Cuatro siglos después, Alejandro Magno, en plena guerra de expansión hacia Oriente, pasó por Gordión en donde lo desafiaron a resolver el nudo. Alejandro lo intentó y no pudo resolverlo, consciente del peligro que se avecinaba sacó su espada y lo cortó de tajo diciendo: “*es lo mismo cortarlo que desatarlo*”.

¹ Teoría *Queer* es la elaboración teórica de la disidencia sexual y la deconstrucción de las identidades estigmatizadas, que a través de la resignificación del insulto consigue reafirmar que la opción sexual distinta es un derecho humano” (Fonseca-Hernández y Quintero-Soto, 2009).



LITERATURA CITADA

- Andersson, M. 1994. *Sexual Selection*. Princeton University Press, Nueva Jersey, 621 pp.
- Bateman, A. J. 1948. Intra-sexual selection in *Drosophila*. *Heredity*. 2(3): 349–368. <https://doi.org/10.1038/hdy.1948.21>
- Byrne, R. J. y J. C. Avise. 2012. Genetic mating system of the brown smoothhound shark (*Mustelus henlei*), including a literature review of multiple paternity in other elasmobranch species. *Marine biology*. 159(4): 749–756. <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1851-z>
- Cade, W. H. 1975. Acoustically Orienting Parasitoids: Fly Phonotaxis to Cricket Song. *Science*. 190(4221): 1312–1313.
- Chapman, T., G. Arnqvist, J. Bangham, L. Rowe. 2003. Sexual conflict. *Trends in ecology and evolution*. 18(1): 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.03.052>
- Conrath, C. L., y J. A. Musick. 2002. Reproductive biology of the smooth dogfish, *Mustelus canis*, in the northwest Atlantic Ocean. *Environmental biology of fishes*. 64(4): 367–377. <https://doi.org/10.1023/A:1016117415855>
- Curtsinger, J. W. 1991. Sperm competition and the evolution of multiple mating. *American naturalist*. 138(1): 93–102. <https://doi.org/10.1086/285206>
- Darwin, C. 1871. *El descenso del hombre y la selección en relación con el sexo*. Editorial La Catarata, Barcelona, 512 pp.
- Dawkins, R. 1976. La Batalla de los sexos. Pp. 186–224. En: Dawkins, R. (Ed.). *El gen egoísta: Las bases biológicas de nuestra conducta*. Barcelona, España, 345pp.
- Dean, R., S. Nakagawa, T. Pizzari. 2011. The risk and intensity of sperm ejection in female birds. *American naturalist*. 178(3): 343–354. <https://doi.org/10.1086/661244>
- DiBattista, J. D., K. A. Feldheim, X. Thibert-Plante, S. H. Gruber, A. P. Hendry. 2008. A genetic assessment of polyandry and breeding-site fidelity in lemon sharks. *Molecular ecology*. 17(14): 3337–3351. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03833.x>
- Dutilloy, A. y M. R. Dunn. 2020. Observations of sperm storage in some deep-sea elasmobranchs. *Deep-sea research part I: oceanographic research papers*. 166, 103405. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103405>
- Eberhard, W. G. 1996. *Female Control: Sexual Selection by Cryptic Female Choice*. Princeton University Press, Nueva Jersey, 472 pp.
- Eldegard, K. y G. A. Sonerud. 2009. Female offspring desertion and male-only care increase with natural and experimental increase in food abundance. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*. 276(1662): 1713–1721. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1775>
- Emlen, S. T. y L. W. Oring. 1977. Ecology, Sexual Selection, and the Evolution of Mating Systems. *Science*. 197(4300): 215–233.
- Firman, R. C., C. Gasparini, M. K. Manier, T. Pizzari. 2017. Post-mating Female Control: 20 Years of Cryptic Female Choice. *Trends in ecology and evolution*. 32(5): 368–382. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.02.010>
- Fitzpatrick, J. L., R. M. Kempster, T. S. Daly-Engel, S. P. Collin, J. P. Evans. 2012. Assessing the potential for post-copulatory sexual selection in elasmobranchs. *Journal of fish biology*. 80(5): 1141–1158. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03256.x>
- Fonseca-Hernández, C. y M. Quintero-Soto. 2009. La Teoría Queer: la de-construcción de las sexualidades periféricas. *Sociológica*. 24(69): 43–60. <http://europa.sim.ucm.es/compludoc/AA?articuloid=743373>
- Ganna, A., K. J. H. Verweij, M. G. Nivard, R. Maier, R. Wedow, A. S. Busch, A. Abdellaoui, S. Guo, J. Fah Sathirapongsasuti, 23andMe Research Team, P. Lichtenstein, S. Lundström, N. Långström, A. Auton, K. M. Harris, G. W. Beecham, E. R. Martin, A. R. Sanders, J. R. B. Perry, B. M. Neale, B. P. Zietsch. 2019. Large-scale GWAS reveals insights into the genetic architecture of same-sex sexual behavior. *Science*. 365(6456): 1–8. <https://doi.org/10.1126/science.aat7693>
- Hamilton, W. J., R. L. Tilson, L. G. Frank. 1986. Sexual Monomorphism in Spotted Hyenas, *Crocuta crocuta*. *Ethology*. 71(1): 63–73.
- Hamlett, W. C. 1999. Male reproductive system. Pp. 444–470. En: Hamlett, W. C. (Ed.). *Sharks, Skates, and Rays: The Biology of Elasmobranch Fishes*. Baltimore, Estados Unidos, 528 pp.
- Hamlett, W. C. y T. J. Koob. 1999. Female reproductive system. Pp. 398–443. En: Hamlett, W. C. (Ed.). *Sharks, Skates, and Rays: The Biology of Elasmobranch Fishes*. Baltimore, Estados Unidos, 528 pp.
- Hamlett, W. C., J. A. Musick, C. K. Hysell, D. M. Sever. 2002. Uterine epithelial-sperm interaction, endometrial cycle and sperm storage in the terminal zone of the oviducal gland in the placental smoothhound, *Mustelus canis*. *Journal of experimental zoology*. 292(2): 129–144. <https://doi.org/10.1002/jez.1149>
- Harel, K. 2001. When Darwin flopped: The rejection of sexual selection. *Sexuality and culture*. 5(4): 29–42. <https://doi.org/10.1007/s12119-001-1001-8>
- Herberstein, M. E., J. M. Schneider, G. Uhl, P. Michalik. 2011. Sperm dynamics in spiders. *Behavioral ecology*. 22(4): 692–695. <https://doi.org/10.1093/beheco/arr053>

- Kirkpatrick, M. 1987. Sexual Selection by Female Choice in Polygynous Animals. *Annual review of ecology and systematics*. 18: 43–70.
- Lehrman, D.S. 1965. Interaction between internal and external environments in the regulation of the reproductive cycle of the ring dove. Pp. 355–380. En: Beach, F.A. (Ed.). *Sex and behavior*. Nueva York, Estados Unidos, 592 pp.
- Lyons, K., D. Kacev, C. G. Mull. 2021. An inconvenient tooth: Evaluating female choice in multiple paternity using an evolutionarily and ecologically important vertebrate clade. *Molecular ecology*. 30(7): 1574–1593. <https://doi.org/10.1111/mec.15844>
- Martjin, A. S., I. Pen, L. W. Beukeboom, J. C. Billeter. 2018. Making sense of intralocus and interlocus sexual conflict. *Ecology and evolution*. 8(24): 13035–13050. <https://doi.org/10.1002/ece3.4629>
- Miller, G. T. y S. Pitnick. 2002. Sperm-female coevolution in *Drosophila*. *Science*. 298(5596): 1230–1233. <https://doi.org/10.1126/science.1076968>
- Oliver, M y J. P. Evans. 2014. Chemically moderated gamete preferences predict offspring fitness in a broadcast spawning invertebrate. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*. 281(1784): 1–8. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.0148>
- Parker, G. A. 1979. Sexual selection and sexual conflict. Pp. 123–166. En: Blum, M. S. & N. A. Blum (Eds.). *Sexual selection and reproductive competition in insects*. Boston, Estados Unidos, 476 pp.
- Pizzari, T. y T. R. Birkhead. 2000. Female feral fowl eject sperm of subdominant males. *Nature*. 405(6788): 787–789. <https://doi.org/10.1038/35015558>
- Pomiankowski, A. (1987). Sexual selection: the handicap principle does work - sometimes. *Proceedings of the royal society of London - biological sciences*. 230(1262): 123–145. <https://doi.org/10.1098/rspb.1987.0038>
- Pradhan, G. R. y C. P. Van Schaik. 2009. Why do females find ornaments attractive? The coercion-avoidance hypothesis. *Biological journal of the Linnean society*. 96(2): 372–382. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2008.01131.x>
- Pratt, H. L. (1993). The storage of spermatozoa in the oviducal glands of western North Atlantic sharks. *Environmental biology of fishes*. 38(1–3): 139–149. <https://doi.org/10.1007/BF00842910>
- Rendón-Herrera, J. J., J. C. Pérez-Jiménez, N. C. Saavedra-Sotelo. 2022. Regional variation in multiple paternity in the brown smooth-hound shark *Mustelus henlei* from the north-eastern Pacific. *Journal of fish biology*. 100(6): 1399–1406. <https://doi.org/10.1111/jfb.15050>
- Rosenthal, G. G. y M. J. Ryan. 2022. Sexual selection and the ascent of women: Mate choice research since Darwin. *Science*. 375(6578): 1–10. <https://doi.org/10.1126/science.abi6308>
- Ryan, M. J. 1985. *The Túngara frog: a study in sexual selection and communication*. University of Chicago Press, Chicago, 246 pp.
- Ryan, M. J. y A. Keddy-Hector. 1992. Directional Patterns of Female Mate Choice and the Role of Sensory Biases. *American naturalist*. 139(Supplement: Sensory Drive): S4–S35. <https://doi.org/10.1086/285303>
- Smuts, B. B. y R. W. Smuts. 1993. Male Aggression and Sexual Coercion of Females in Nonhuman Primates and Other Mammals: Evidence and Theoretical Implications. *Advances in the study of behavior*. 22(22): 1–63. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(08\)60404-0](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(08)60404-0)
- Stölting, K. N. y A. B. Wilson. 2007. Male pregnancy in seahorses and pipefish: Beyond the mammalian model. *Bioessays*. 29(9): 884–896. <https://doi.org/10.1002/bies.20626>
- Tamar-Mattis, A. 2006. Exceptions to the rule: curing the law's failure to protect intersex infants. *Berkeley journal of gender law & justice*. 21: 59–110.
- Tárula-Marín, A. O. y N.C. Saavedra-Sotelo. 2021. First record of the mating system in the grey smoothhound shark (*Mustelus californicus*). *Marine Biology Research*. 17(4): 362–368. <https://doi.org/10.1080/17451000.2021.1964533>
- Thornhill, R. 1983. Cryptic female choice and its implications in the scorpionfly *Harpobittacus nigriceps*. *American naturalist*. 122(6): 765–788. <https://doi.org/10.1086/284170>
- Troisi, A. y M. Carosi. 1998. Female orgasm rate increases with male dominance in Japanese macaques. *Animal behaviour*. 56(5): 1261–1266. <https://doi.org/10.1006/anbe.1998.0898>
- Vasey L. P. 1996. Interventions and alliance formation between female Japanese macaques, *Macaca fuscata*, during homosexual consortships. *Animal behaviour*. 52(3): 539–551. <https://doi.org/10.1006/anbe.1996.0196>
- Vincent, A. C. J. 1994. Operational Sex Ratios in Seahorses. *Behaviour*. 128(1), 153–167.
- Wagner, R. H., F. Helfenstein, E. Danchin. 2004. Female choice of young sperm in a genetically monogamous bird. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 271(SUPPL. 4): 134–137. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2003.0142>
- Wiley, R. H. 2015. *Noiste Matters: The evolution of communication*. Harvard University Press, Boston, 520 pp.
- Yasui, Y. 1997. A “good-sperm” model can explain the evolution of costly multiple mating by females. *American naturalist*. 149(3): 573–584. <https://doi.org/10.1086/286006>
- Yoshizawa, K., R. L. Ferreira, Y. Kamimura, C. Lienhard. 2014. Female penis, male vagina, and their correlated evolution in a cave insect. *Current biology*. 24(9): 1006–1010. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.022>
- Zahavi, A. 1977. The cost of honesty. Further Remarks on the Handicap Principle. *Journal of theoretical biology*. 67(3): 603–605. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(77\)90061-3](https://doi.org/10.1016/0022-5193(77)90061-3)

CÓDIGO DE BARRAS DE LA VIDA, UNA HERRAMIENTA PARA CONOCER Y CONSERVAR LA BIODIVERSIDAD

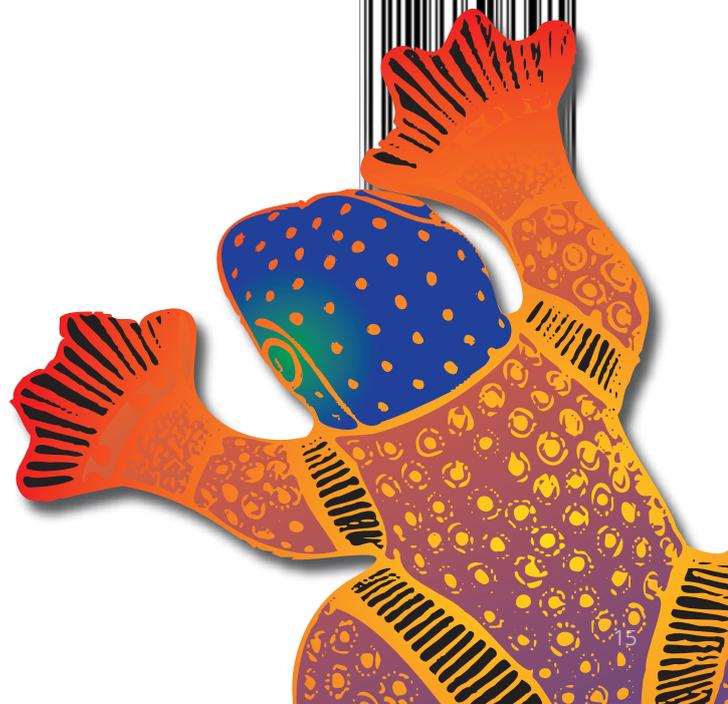
BARCODE OF LIFE, A TOOL
TO KNOW AND CONSERVE
BIODIVERSITY

ANA LAURA LARA RIVERA¹, MARÍA DE JESÚS
LÓPEZ LÓPEZ², LOURDES CERVANTES DÍAZ³

¹Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. México. alarar@uanl.edu.mx

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa. mary.lopez@uas.edu.mx

³Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California, Campus Mexicali. lourdescervantes@uabc.edu.mx



RESUMEN

La identificación y clasificación taxonómica tradicional de los organismos vivos requiere de un amplio adiestramiento y conocimiento en claves taxonómicas, sumando a esto la taxonomía tradicional se enfrenta a otros retos como la complejidad de identificar organismos en estadios inmaduros, diferenciar entre especies cercanas y caracterizar la biodiversidad, entre otros. La aplicación de tecnologías de análisis molecular presenta una nueva era de posibilidades para la solución de estos problemas; es por ello que en 2010 el Consorcio Internacional de Código de Barras de la Vida (iBOL) estableció una iniciativa a nivel mundial con el objetivo de construir una biblioteca de referencia de códigos de barras de ADN de libre acceso. A la fecha esta iniciativa ha logrado establecer redes de colaboración que han derivado en la resolución de dichos problemas de la taxonomía tradicional, así mismo se plantea el alcance de nuevos retos enfocados en la preservación de las especies en peligro y en establecer la presencia y relaciones de los organismos de un ecosistema.



PALABRAS CLAVE: Código de barra de la vida, biodiversidad, identificación y clasificación de organismos.

Key Words: Barcodes of Life, Biodiversity, Organism identification and classification.

ABSTRACT

Traditional identification, taxonomy, and classification of living organisms require extensive training and knowledge in taxonomic keys and face challenges such as the complexity of identifying organisms in immature stages, sexual dimorphism, and cryptic species, among others. The application of molecular analysis technologies presents a new era of possibilities for solving these problems; That is why in 2010 the International Barcode of Life Consortium (iBOL) established a global initiative to build a reference library of freely accessible DNA barcodes for the identification of living organisms. To date, this initiative has permitted to establishment of collaboration networks that have led to the resolution of problems in traditional taxonomy, as well as the scope of new challenges focused on the preservation of endangered species.



INTRODUCCIÓN

/// Imagina un mundo en el que puedes saber el nombre de cualquier animal, cualquier planta, cualquier hongo, cualquier organismo, en el instante, en cualquier lugar del planeta. Imagina que tienes acceso a todo el conocimiento de la humanidad sobre esa especie - ¿Es peligrosa? ¿Es parte de cierto ecosistema? ¿Se trata de una especie protegida? - ¿Cómo cambiaría esta posibilidad nuestras vidas, nuestras perspectivas, nuestro impacto en la biodiversidad del planeta?" Con estas palabras se presenta el Consorcio Internacional de Código de Barras de la Vida (iBOL) en su página de internet. ¿Qué tan cerca nos encontramos de esta visión que parece ciencia ficción? En las siguientes páginas se definirá el código de barras de ADN, su potencial, sus aplicaciones, sus mitos y sus perspectivas.

El término "biodiversidad" hace referencia a la variedad de formas de vida que pueden encontrarse en la Tierra en todos sus niveles. Desde la antigüedad, los seres humanos han usado distintos métodos de clasificación para el mundo que los rodeaba: así, las primeras civilizaciones incluían en el catálogo natural a los minerales. Aristóteles en el año 350 a. C. estableció el primer sistema de clasificación de los organismos vivos con el cual clasificó alrededor de 500 especies, principalmente animales y algunas plantas. A las plantas las dividió en plantas con flores y sin flores mientras que para los animales instituyó dos categorías *anaima* (animales sin sangre) y *enaima* (animales con sangre).

En la actualidad, la ciencia que se encarga de clasificar a los seres vivos de acuerdo a sus características es la taxonomía. El origen de la taxonomía, sin embargo, se le atribuye a Carlos Von Linneo, quien en su publicación de 1735 retoma las ideas de Aristóteles e instituye el sistema de clasificación de siete categorías o taxones: Reino, *Phylum*, Clase, Orden, Familia, Género y Especie que aún se utiliza con ciertas modificaciones. Linneo también instituyó un sistema para asignar un nombre único a todos los organismos, empleando el género y la especie: este sistema es conocido en la actualidad como nomenclatura binomial.

Si bien el papel de los taxónomos ha sido primordial para la clasificación y registro de los seres vivos, ciertas dificultades pueden obstaculizar la posterior identificación de los organismos utilizando guías taxonómicas. Por ejemplo, muchas especies presentan dimorfismo sexual, es decir, los machos y las hembras de la misma especie son físicamente distintos –los machos suelen ser más coloridos para atraer a las hembras. En estos casos, la correcta identificación de una especie dependerá de que el taxónomo tenga acceso a un macho adulto. Otro ejemplo se encuentra en organismos que presentan diversas fases en su desarrollo: ¿Cómo identificar adecuadamente un árbol por medio de su semilla? o ¿Cómo identificar un insecto utilizando una larva o un huevecillo?

El uso del ADN para identificar organismos ha revolucionado las leyes y la taxonomía desde que comenzó su uso en la década de 1980. Sin embargo, fue



hasta el año 2003 que propuso un método denominado código de barras de ADN para la identificación taxonómica de seres vivos. La tecnología de código de barras de ADN surgió como una respuesta a la necesidad de identificar organismos de manera rápida, confiable y precisa, ya sea como una herramienta de apoyo para los taxónomos, como una alternativa cuando no se dispone de especímenes adecuados para su identificación taxonómica o cuando esta resulta ser complicada, como en el caso de las especies que no se pueden distinguir por su morfología (denominadas como crípticas).

DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

La tecnología del código de barras de ADN se basa en usar un fragmento de un gen estandarizado (esto es, que sea el mismo para todos) de un organismo para distinguirlo como especie. En animales se usa un fragmento de un gen del ADN mitocondrial (ADNmt) para la identificación con los códigos de barras de la vida. El ADN mitocondrial presenta varias ventajas frente al ADN nuclear: se transmite por vía materna, por lo que no existe recombinación con el macho y al mismo tiempo el gen utilizado tiene una tasa de mutación diez veces más alta que otros. Además, cada célula puede poseer cientos o miles de mitocondrias, lo cual facilita la obtención del material genético, que a su vez suele ser más fácil de manipular que el ADN nuclear. Estas ventajas hacen que el ADNmt sea más fácil de analizar a partir de muestras difíciles de procesar como huesos o dientes conservados muy antiguos, especímenes disecados, pieles y otros tejidos conservados químicamente.

Cuando se hace por primera vez la identificación molecular de un organismo o se crea un registro nuevo, los especímenes deben de ser identificados previamente con base a su morfología o con pruebas microbiológicas para asegurar la identidad del individuo. Este trabajo normalmente debe ser realizado por un especialista. Adicionalmente, el ejemplar que fue identificado debe ser depositado en una colección científica de referencia para futuras revisiones. Se requiere que el hábitat del organismo sea descrito con precisión, incluyendo coordenadas geográficas del sitio y del ejemplar en sí mismo. Con estos organismos como referencia, cada vez que otro organismo de esa misma especie se analice, podrá ser identificado mediante una comparación con el que ya se analizó y está representado en una colección.

La identificación molecular puede lograrse siguiendo cuatro pasos sencillos (Figura 1):

1. En primera instancia, debe obtenerse una muestra de ADN del organismo que quiere identificarse. El ADN puede purificarse a partir de pelo, heces, sangre, músculo, hojas, tallo, semillas, huevos, patas, etcétera. Actualmente existen métodos muy sencillos y baratos que solo tardan media hora para generar una extracción de ADN de buena calidad.
2. A continuación, se amplifican regiones específicas del genoma del organismo. Esto significa obtener miles de millones de copias del gen de interés. Las plantas se identifican usando dos regiones de sus cloroplastos por lo general (conocidas como matK y rbL), a los animales se les identifica usando la primera mitad del gen mitocondrial que codifica para la citocromo oxidasa c de la cadena respiratoria y en los hongos se usan los dos fragmentos del ADN ribosomal (ITS1 e ITS2). Para este fin, se diseñan cebadores universales, que son pequeñas secuencias de ADN sintético que se usan para amplificar las regiones genómicas de interés mediante la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR).
3. Posteriormente, debe obtenerse la secuencia de los fragmentos amplificados. Esta secuencia consiste en conocer el orden en que se encuentran ordenados los 4 nucleótidos del ADN (adenina, timina, guanina y citosina) en estos fragmentos. En la actualidad las técnicas de secuenciación son más rápidas y su costo se ha reducido permitiendo al investigador secuenciar genes individuales manera rutinaria.
4. Finalmente, la secuencia obtenida se compara con las bases de datos, que normalmente se encuentran en línea y son abiertas a todo el público. Por ejemplo BOLD (boldsystems.org). Estas bases de datos contienen los archivos de los organismos previamente identificados. De este modo, si la secuencia obtenida coincide con la que se encuentra en la base de datos, significa que el organismo estudiado ha sido identificado.

CASOS DE ESTUDIO Y CONTROVERSIAS

Uno de los usos más nobles de estos marcadores moleculares consiste en identificar especies usando

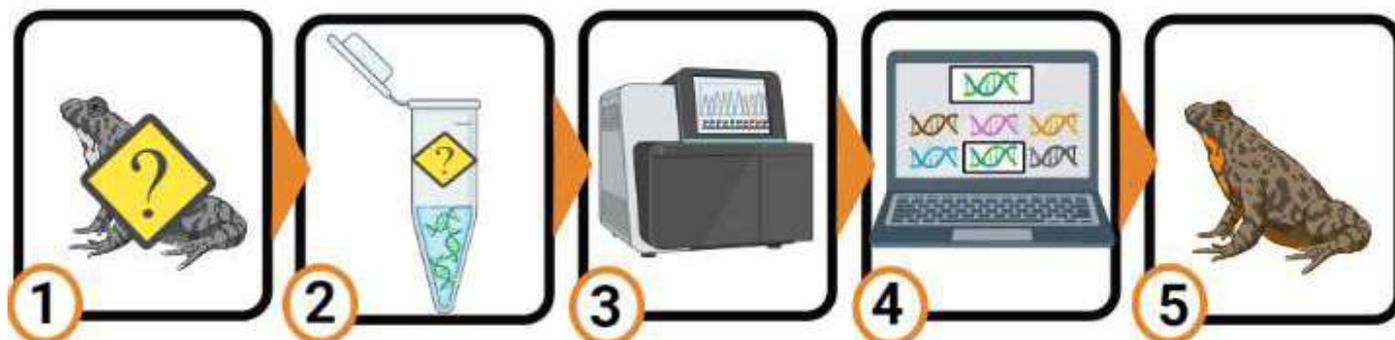


Figura 1. Proceso de identificación de un organismo mediante código de barras de ADN. Paso 1: Obtención de organismo desconocido. Paso 2: Extracción de ADN del organismo desconocido. Paso 3: Amplificación y secuenciación de ADN. Paso 4: Comparación de secuencia de ADN de organismo desconocido con secuencias de base de datos. Paso 5: Identificación de organismo.

muestras forenses. Entre los ejemplos de la aplicación del código de barras de ADN pueden mencionarse la identificación de subproductos de ballenas en el mercado japonés, lo cual puso en evidencia la caza ilícita de estos organismos. También sirven para la detección del comercio ilegal de aves a través de huevos o plumas que, de otro modo, serían muy difíciles de identificar. Incluso ha sido posible rastrear el sitio de origen de un individuo con base en su ADN, como un caso donde se identificaron el sexo y el origen geográfico de pieles de Leopardo en la India.

Algunos organismos son difíciles de identificar en ciertos estadíos, como las larvas de *Elateridae*, una familia de coleópteros que causa daños a los cultivos. Las larvas son las que causan daños a plantas de cereal, sin embargo, es difícil identificarlas por métodos tradicionales (la morfología). El código de barras de ADN ha demostrado ser capaz de identificar estas larvas a nivel de especie rápidamente, con lo que se promueve un manejo más eficiente de plagas de importancia económica.

La identificación rápida y precisa de organismos puede también facilitar la práctica clínica facilitando el diagnóstico de enfermedades provocadas por patógenos. Un ejemplo de esto es la creación de la Sociedad Internacional de Micología Humana y Animal (ISHAM por sus siglas en inglés), que cuenta con una base de datos de miles de secuencias pertenecientes a cientos de especies representativas de hongos patógenos.

Por otro lado, en peces, más de 1500 publicaciones científicas avalan el uso la identificación a nivel de especie de cientos de peces alrededor del mundo, lo que constituye una herramienta poderosísima para la ubicación de especies tanto nativas como invasoras. Con esta metodología ha sido posible detectar el tráfico ilegal de aletas de tiburón de especies prohibidas.

A pesar de las amplias posibilidades de la tecnología del código de barras de la vida, existe cierto grado de controversia sobre la robustez de sus resultados y sobre si su uso demerita a la taxonomía tradicional, basada exclusivamente en la morfología. Algunos científicos consideran que el enfoque en un solo gen, principio en el cual se basa los códigos de barra de la vida, es inadecuado para describir toda la biodiversidad de algunos organismos. Esto es cierto en las plantas, donde con los dos genes propuestos (matK y rbcL) se tiene apenas un 70% de resolución. O en los hongos, donde es imposible alinear los dos fragmentos de ITS. Sin embargo, en animales llega a sobrepasar el 90% de precisión, un número que sobrepasa a muchos técnicos calificados y que también gana en tiempo, pues fragmentos aún más pequeños del gen COI (hasta 100 bp) tienen una alta precisión y se pueden obtener en menos de media hora.

Es probable que con el tiempo surjan marcadores moleculares que pudieran mostrar mayor eficacia o especificidad que la región usada en los códigos de barra de ADN, sobre todo en plantas y hongos. Sin embargo es innegable la utilidad que tienen en

la identificación de los organismos tal como se ha discutido en párrafos anteriores. La verdad es que, para optimizar la utilidad de esta tecnología, se requiere del trabajo conjunto de taxónomos y biólogos moleculares; primero, hay que identificar taxonómicamente a los organismos y posteriormente crear su código de barras de ADN. Una especie no puede describirse únicamente mediante su ADN, pero sí identificarse una vez que ha sido previamente trabajada.

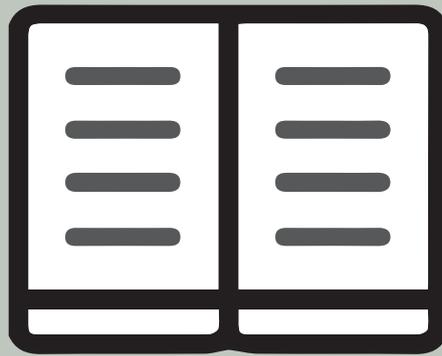
Finalmente, a partir de la información de las especies en bases de datos como BOLD, han permitido el desarrollo del llamado metabarcoding basado en el ADN ambiental. Esto significa que con solo muestras de suelo, agua o incluso aire, podemos identificar, por los rastros de ADN que dejaron, a todos los organismos que se encuentren en un hábitat determinado (por ejemplo, un bosque o un lago), sin necesidad de colectarlos o verlos.

PERSPECTIVAS

Una de las apreciaciones más comunes es que es muy complicado o costoso generar secuencias del ADN de los organismos. En países como el nuestro, donde las técnicas moleculares no han alcanzado el grado de expansión de los países desarrollados es cierto.

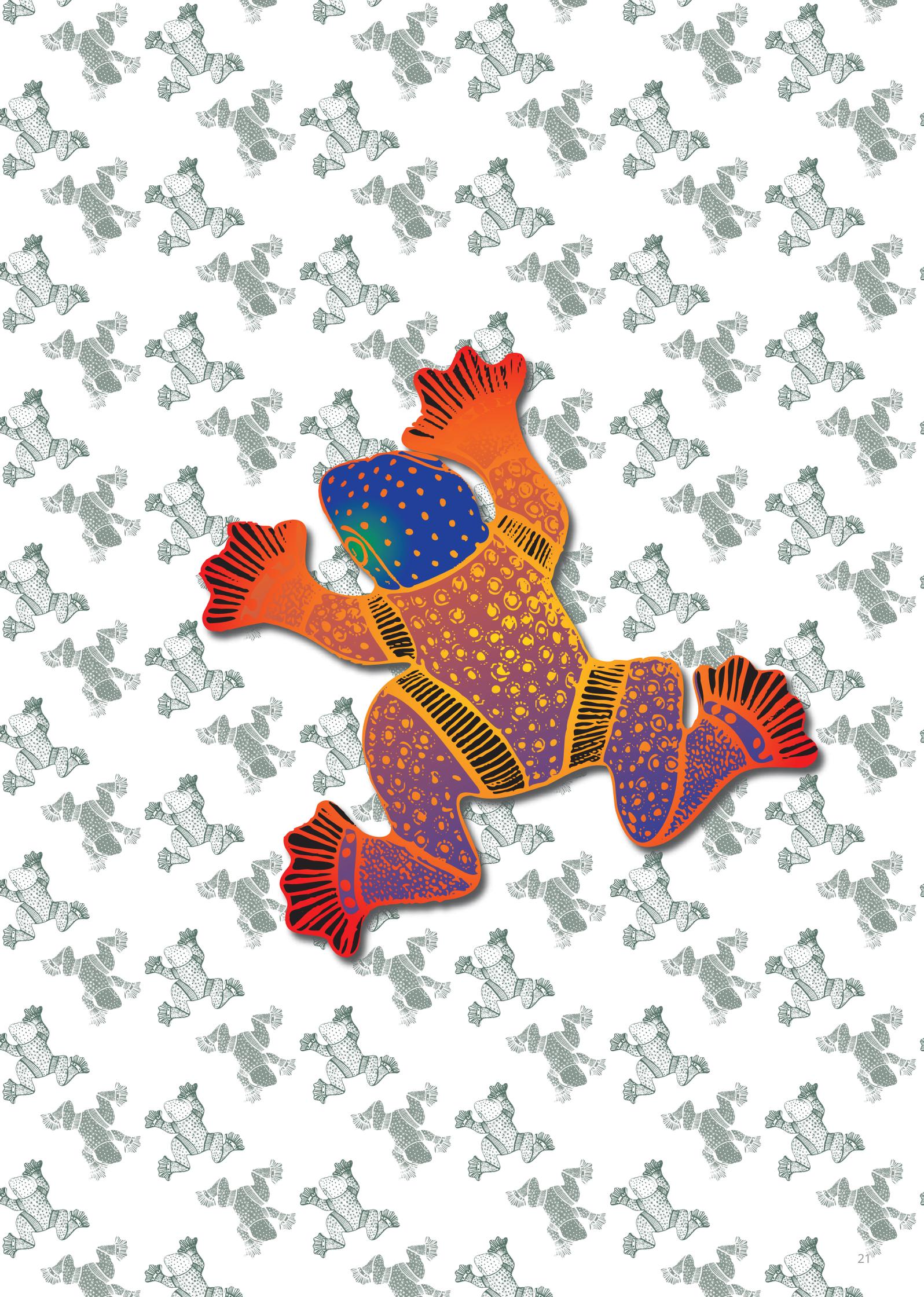
Sin embargo los biólogos, taxónomos, ecólogos y conservacionistas, no requieren entrenamiento ni equipo especial para procesar el ADN de sus especímenes. En la actualidad, la constante optimización de las tecnologías de secuenciación del ADN, el aumento en el interés en la técnica y el compromiso de centros de investigación especializados como la Universidad de Guelph en Canadá y el Smithsonian Institution en Estados Unidos, han hecho posible la generación de información genómica a bajo costo, tan solo enviando una pequeña muestra del organismo estudiado. También existen numerosos laboratorios sobre todo en Estados Unidos, Corea y China que desarrollan el trabajo a un costo muy bajo.

La tecnología de código de barras de ADN en los últimos años ha contribuido a resolución de problemas en la taxonomía tradicional y algunas áreas negras en la preservación de la biodiversidad y uso de recursos biológicos inadecuados. Estos antecedentes aunados al trabajo conjunto de investigadores alrededor del mundo enfocados en la recolección, identificación de especímenes y el enriquecimiento de la base de datos perfilan a esta tecnología como la herramienta más poderosa para la taxonomía moderna, con repercusiones en todos los ámbitos donde se requiere la identificación precisa de los organismos. Así mismo a medida que se acumulan los datos alrededor del mundo, se crean no solo una base de datos más robusta, sino relaciones entre investigadores e instituciones que eventualmente contribuirán a un mejor entendimiento, documentación y conservación de la biodiversidad del planeta. Además, las metodologías desarrolladas para el ADN ambiental ayudarán de una forma definitiva a entender la ecología y la conservación de los ecosistemas de nuestro planeta.



LITERATURE CITED

- International Barcode of life. En: <https://ibol.org/>. Accesado en enero de 2023.
- Baker C.S., S.R. Palumbi. 1994. Which whales are hunted? A molecular genetic approach to monitoring whaling. *Science*, 265:1538–1539. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.265.5178.1538>
- Brusca, R.C., & G.J. Brusca. 2003. *Invertebrates* (Inc. Sinauer Associates Ed. Segunda ed.). 25 pp.
- Brown J.H. & M.V. Lomolino. 1998. *Biogeography*. Sunderland (MA): Sinauer Associates. <https://doi.org/10.1002/mmnz.20000760118>.
- Elias-Gutierrez, M., F.M. Jeronimo, N.V. Ivanova, M. Valdez-Moreno & P.D. Hebert. 2008. DNA barcodes for Cladocera and Copepoda from Mexico and Guatemala, highlights and new discoveries. *Zootaxa*, 1839(1), 1-42.
- Etzler, F.E., K.W. Wanner, A. Morales-Rodriguez & M.A. Ivie. 2014. DNA barcoding to improve the species-level management of wireworms (Coleoptera: Elateridae). *Journal of Economic Entomology*, 107(4), 1476-1485. <https://doi.org/10.1603/EC13312>.
- Gonçalves, P.F., A.R. Oliveira-Marques, T.E. Matsumoto & C.Y. Miyaki. 2015. DNA barcoding identifies illegal parrot trade. *Journal of Heredity*, 106(S1), 560-564. <https://doi.org/10.1093/jhered/esv035>.
- González-Solís, D., M. Elías-Gutiérrez, J.A. Prado-Bernal, & M.A. García-de la Cruz. 2019. DNA barcoding as a diagnostic tool of a rare human parasitosis: the first case of *Lago chilascaris* minor in Quintana Roo, Mexico. *Journal of Parasitology*, 105(2), 351-358. <https://doi.org/10.1645/18-129>
- Hebert, P.D., & T.R. Gregory. 2005. The promise of DNA barcoding for taxonomy. *Systematic biology*, 54(5), 852-859. <https://doi.org/10.1080/10635150500354886>.
- Irinyi, L., C. Serena, D. Garcia-Hermoso, M. Arabatzis, M. Desnos-Ollivier, D. Vu & W. Meyer. 2015. International Society of Human and Animal Mycology (ISHAM)-ITS reference DNA barcoding database—the quality controlled standard tool for routine identification of human and animal pathogenic fungi. *Medical mycology*, 53(4), 313-337. <https://doi.org/10.1093/mmy/myv008>.
- Ivanova, N.V., A.V. Borisenko & P.D. Hebert. 2009. Express barcodes: racing from specimen to identification. *Molecular ecology resources*, 9, 35-41. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2009.02577.x>
- Lecona Urrutia, A.A. 2014. *Biología I* (MCGRAW-HILL INTERAMERICANA Ed. Segunda ed.). 130-133 pp.
- Mondol S., V. Sridhar, P. Yadav, S. Gubbi & U. Ramakrishnan. 2014. Tracing the geographic origin of traded leopard body parts in the Indian sub-continent with DNA-based assignment tests. *Consev Biol*. <https://doi.org/10.1111/cobi.12393>.
- Schwarz C., R. Debruyne, M. Kuch, E. McNally, H. Schwarcz, A.D. Aubrey, J. Bada & H. Poinar. 2009. New insights from old bones: DNA preservation and degradation in permafrost preserved mammoth remains. *Nucleic Acids Res*. 37:3215–29. <https://doi.org/10.1093/nar/gkp159>
- Valdez-Moreno, M., N.V. Ivanova, M. Elías-Gutiérrez, S. Contreras-Balderas, & P.D.N. Hebert. 2009. Probing diversity in freshwater fishes from Mexico and Guatemala with DNA barcodes. *Journal of Fish Biology*, 74(2), 377-402.
- Valdez-Moreno, M., C. Quintal-Lizama, R. Gómez-Lozano & M.D.C. García-Rivas. 2012. Monitoring an alien invasion: DNA barcoding and the identification of lionfish and their prey on coral reefs of the Mexican Caribbean. *PloS one*, 7(6), e36636.
- Valdez-Moreno, M., N.V. Ivanova, M. Elias-Gutierrez, S.L. Pedersen, K. Bessonov & P.D. Hebert. 2019. Using eDNA to biomonitor the fish community in a tropical oligotrophic lake. *Plos one*, 14(4), e0215505.



APUNTES SOBRE LA PRESENCIA DE LA VÍBORA DE CASCABEL DE LAS ROCAS TAMAULIPECA (*CROTALUS MORULUS*) EN TAMAULIPAS



¹ Biodiversidad Mesoamericana. Oaxaca de Juárez, C.P. 68016, Oaxaca, México.

² Organización Los Hijos del Desierto, C.P. 20427 Aguascalientes, México.

³ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Herpetología, San Nicolás de los Garza, C.P. 66450, Nuevo León, México.

ELÍ GARCÍA-PADILLA¹, IVÁN VILLALOBOS-JUÁREZ², Y DAVID LAZCANO³



RESUMEN

Documentamos anecdótica y fotográficamente la presencia de *Crotalus morulus* en el estado de Tamaulipas, así como de las especies que componen la herpetofauna asociada en el hábitat de esta emblemática especie de víbora en un par de localidades del sur de Tamaulipas. Observamos graves problemas ambientales en ambas áreas de estudio. Instamos a las autoridades e instituciones ambientales a promover las bases para la conservación efectiva a perpetuidad de esta especie y de los ecosistemas naturales en los que convive con un sinnúmero de especies nativas y endémicas que conforman el patrimonio biológico de la entidad más biodiversa del noreste de México.

ABSTRACT

We documented anecdotic and photographically the presence of *Crotalus morulus* in the Mexican state of Tamaulipas, as well as the species of the herpetofauna associated with the habitat of this emblematic species of pitviper in a couple of localities in southern Tamaulipas. We observed several serious environmental issues in both of the study areas. We urge environmental authorities and institutions to promote the basis for the effective conservation for perpetuity of this species and of the natural ecosystems in which it coexists with countless sympatric native and endemic species that make up the biological heritage of the most biodiverse entity in the northeast of Mexico.



Palabras clave: *Crotalus morulus*, Herpetofauna, El Cielo, Miquihuana, Tamaulipas

Keywords: *Crotalus morulus*, Herpetofauna, El Cielo, Miquihuana, Tamaulipas

INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica de México es una de las más destacadas a nivel mundial y se encuentra dentro de las cinco naciones megabiodiversas, albergando cerca del 12 % de la biodiversidad planetaria (Plascencia et al., 2011; Toussaint, 2015; Heimes, 2016; Johnson et al., 2017, López-Barrera et al., 2017; Sarukhán et al., 2017). En el noreste de México existen aún grandes regiones que resguardan ecosistemas naturales en excelente estado de conservación. Este es el caso de la Sierra Madre Oriental en los estados de Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila, en donde se mantienen, entre otros ecosistemas, bosques de coníferas, bosques mixtos de pino-encino, así como también el relicto de bosque mesófilo de montaña más septentrional del continente americano (Terán-Juárez et al., 2016).

Por su parte el estado mexicano de Tamaulipas (80,249 km²) destaca como la sexta entidad federativa más extensa territorialmente a nivel país y además es considerada como la más biodiversa de todo el noreste mexicano. El estado se ha hecho famoso a nivel mundial por causa de la creación de la Reserva (Estatad) de la Biósfera “El Cielo” en el año de 1985, además de un Área Natural Protegida de carácter federal conocida como “Sierra de Tamaulipas” (Conabio, 2006)

Más allá de las Áreas Naturales Protegidas (ANP´s) existen otros tipos de ecosistemas como son los áridos y semiáridos, por ejemplo, el matorral espinoso tamaulipeco y otros tipos de asociaciones vegetales como el matorral xerófilo y rosetófilo. En el también conocido como cuarto distrito y dentro del altiplano mexicano, se ubica el municipio de Miquihuana, el cual se ha ido posicionando poco a poco como una región prioritaria para su conocimiento y conservación. Recientes estudios florísticos (Macouzet-Pacheco et al., 2013) y faunísticos (Gómez-Rodríguez y Salazar-Olivo, 2012) demuestran que hemos prestado poca a nula atención a regiones extensas en las que, si bien no existen decretos de ANP´s, los dueños de la tierra -como es el caso de los ejidatarios herederos del reparto agrario producto de la revolución mexicana- son los custodios de un tesoro biocultural de enormes proporciones. No dudamos que en el futuro el estado y las ONG´s como es el caso de Pronatura noreste sigan promoviendo nuevos decretos de ANP´s. Sin embargo, consideramos esencial el respeto al derecho legítimo y ancestral que poseen los actores comunitarios sobre estos territorios y sus bienes naturales comunes.

Es así que, a partir del año de 2006 comenzamos a explorar el sur de Tamaulipas en busca de esta enigmática especie conocida como víbora de cascabel de las rocas tamaulipeca (*Crotalus morulus*). Nos adentramos en un par de localidades históricas y remotas en los municipios de Gómez Farías y Miquihuana respectivamente, para documentar así a un par de poblaciones saludables y relativamente abundantes, pero a la vez vulnerables de esta especie de serpiente venenosa.

Pretendemos atraer reflectores de parte de los actores comunitarios, autoridades gubernamentales de los tres niveles, así como también de las instituciones ambientales para sentar las bases del efectivo conocimiento y conservación a perpetuidad del patrimonio biológico de los tamaulipecos. Postulamos que esta especie de singular belleza estética y de importancia biológica-ecológica y cultural, debería ser condecorada formal y oficialmente como un emblema o ícono de la biodiversidad tamaulipeca.

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

CROTALUS MORULUS (KLAUBER, 1952)

DESCRIPCIÓN

La mayoría de los adultos miden entre 45 y 60 cm, los machos suelen ser más grandes que las hembras. El color y el patrón de esta especie son muy variables. El patrón dorsal generalmente consiste en marcas oscuras que tienden a ser como manchas en la parte anterior del cuerpo, y posteriormente se convierten en bandas cruzadas que a menudo se extienden hasta la región ventral. Las marcas dorsales tienen bordes relativamente suaves y generalmente están bordeadas de blanco. El color de fondo es gris o marrón y, a menudo, tiene un matiz amarillento o anaranjado, especialmente en los machos. A menudo hay una cantidad considerable de manchas en los lados. Algunos individuos, especialmente los machos adultos, son de color gris claro en general y esencialmente sin patrones. Hay manchas en la nuca emparejadas que por lo general no se fusionan en ningún punto. La parte superior de la cabeza tiene una pigmentación oscura, a menudo con un par de manchas en forma de ala en la región parietal-temporal superior. La franja postocular suele estar bien definida y bordeada de blanco. El vientre suele ser oscuro. Hay de 5 a 15 escamas en la región internasal-prefrontal, de 1 a 4 (generalmente 2) intersupraoculares, de 10 a 15 supralabiales, de 9 a 13 infralabiales, de 156 a 167 ventrales en los machos y de 160 a 171 en las hembras. Finalmente de de 25 a 30 subcaudales en machos y de 20-25 en hembras (Heimes, 2016).

DISTRIBUCIÓN

Crotalus morulus ocupa un área relativamente pequeña en la parte norte de la Sierra Madre Oriental, con una elevación de aproximadamente 1190 a 2600 m desde el extremo sureste de Coahuila a través del centro de Nuevo León hasta el suroeste adyacente de Tamaulipas (Klauber, 1952, 1972; Martin, 1958; Armstrong y Murphy, 1979; Campbell y Lamar, 1989, 2004; Lazcano et al., 2010; Lemos-Espinal et al., 2018; Todos citados en Heimes, 2016), se incluye mapa de su distribución en el noreste de México. Aunque *C. morulus* ha sido considerado hasta hace poco como una subespecie de *C. lepidus*, Bryson et al., (2010) encontraron una relación parental entre *C. morulus* y *C. aquilus*, lo que sugiere que *C. morulus* podría estar más estrechamente relacionado con esta última especie que con *C. lepidus* (Heimes óp. cit.).

En Tamaulipas esta especie se conoce básicamente de dos zonas, una en la Sierra de Guatemala en un par

de localidades (localidades tipo) conocidas como La Gloria y Ejido El Porvenir ("La Perra") (25. 925000° N, -97. 889170° O; elevación 2,000 msnm), en el municipio de Gómez Farías. La otra zona es en el Ejido La Marcela (23. 751389° N -99. 818333° W; elevación 2,500 msnm) en el municipio de Miquihuana dentro de la región fisiográfica conocida como Gran Sierra Plegada. Más recientemente la especie fue encontrada en una tercera zona en el Ejido Las Chinas (23.125919 ° N -99.237708 ° W; elevación 2,610 msnm) en el municipio de Güémez (Terán-Juárez et al., 2015). Sin embargo, en esta nueva localidad no existen datos adicionales sobre la historia natural de esta especie.

Adicionalmente se han documentado poblaciones esta especie en las áreas adyacentes del vecino estado de Nuevo León por ejemplo en el Ejido La Soledad, municipio de Galeana y Ejido La Siberia, municipio de Zaragoza (Lazcano et al., 2004b). Seguramente existen más localidades donde potencialmente se puede encontrar la especie a través de su distribución como se observa en el mapa (figura 1).

HISTORIA NATURAL

Esta especie ha sido reportada en bosques húmedos de pino-encino y bosque nuboso en la Sierra de Guatemala en Tamaulipas (Martin, 1955, 1958), y en situaciones relativamente abiertas y secas de pino-matorral de encino en laderas rocosas empinadas cerca de la frontera entre Coahuila-Nuevo León (Armstrong y Murphy, 1979 citados en Heimes, 2016). La vegetación de este último hábitat consistía en matorrales bajos y agaves con algunos pinos y robles dispersos. El apareamiento generalmente ocurre a fines del verano y el otoño, y nacen de 4 a 10 crías al año siguiente, de junio a agosto. Las crías miden entre 125 y 190 mm longitud total LT al nacer (Armstrong y Murphy, 1979; Sánchez et al., 1999 citados en Heimes óp. cit.). Por otro lado, (Lazcano et al., 2007; Lazcano et al., 2011) mencionan que los combates entre machos son muy raros de observar en vida silvestre. El apareamiento ocurre generalmente entre septiembre y octubre en las poblaciones de zonas elevadas, aunque también se ha observado en los meses de junio y julio. La actividad sexual de la especie en el caso de los machos tiene dos periodos de actividad donde los niveles de testosterona son altos, un primer periodo es en el mes de junio y el segundo es entre septiembre-octubre cuando los machos son muy activos en la búsqueda de las hembras (Lazcano, datos sin publicar).

Con respecto a la dieta persiste un vacío de información, lo que se sabe hasta el momento es que se alimentan principalmente de lagartijas, particularmente de las especies pertenecientes al género *Sceloporus* (lagartijas espinosas) (Klauber, 1997; Lazcano et al., 2004a), por otro lado, se menciona la depredación de *Barisia imbricata ciliaris* (= *Barisia ciliaris*) y *Eumeces brevisrostris pineus* (= *Plestiodon dicei*). También se sabe que pueden consumir ranas, serpientes pequeñas, roedores y algunos invertebrados pequeños, pero estos no han sido identificados y documentados a nivel específico (Price, 2014).

ESTATUS DE CONSERVACIÓN

Esta especie no está enlistada en la NOM 059 de SEMARNAT (2019) ni por parte de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN. El índice de vulnerabilidad ambiental (Johnson et al., 2017) le ha otorgado un valor de 16 lo cual la posiciona en la categoría de vulnerabilidad alta.

METODOLOGÍA

Realizamos varias visitas de campo a ambas localidades del año 2006 al 2022. El método de muestreo fue el de búsqueda aleatoria dentro de campos de cultivo y zonas de vegetación natural. También se llevaron a cabo transectos lineales a lo largo de bardas de roca que dividen a las parcelas de los ejidatarios en el ejido La Marcela, lugares favoritos de la serpiente. Se inspeccionó principalmente debajo de rocas y agaves. Se tomaron fotografías no solo de los ejemplares de la especie *Crotalus morulus*, si no, también de todos los miembros de la herpetofauna simpátrica en ambas localidades muestreadas.

ÁREA DE ESTUDIO

El Ejido El Porvenir también conocido históricamente como "La Perra" se encuentra ubicado dentro de la zona núcleo de la Reserva Estatal de la Biósfera "El Cielo" en el municipio de Gómez Farías. Se encuentra a unos 2,000 msnm y es un antiguo asentamiento de un aserradero actualmente abandonado. Los ejidatarios de comunidades circunvecinas y de la cabecera municipal comentan que este lugar posiblemente fue abandonado por el excesivo número de víboras de cascabel. Otras versiones del vulgo comentan que ahí hubo cultivos ilícitos de amapola. El tipo de vegetación predominante es el bosque de coníferas.

El Ejido La Marcela pertenece al municipio de Miquihuana, se encuentra ubicado a unos 2,500 msnm y a una distancia de unos 20 km al sur de la cabecera municipal. Actualmente cuenta con una población total de unos 45 habitantes los cuales migran estacionalmente a la cabecera municipal y a otras localidades. El tipo de vegetación predominante es el matorral rosetófilo, bosques mixtos de pino-encino, con predominante conglomerado de *Agave montana* y *Agave gentryi*, donde podemos mencionar que hay una relación muy fuerte entre esta especie y los conglomerados de agaves (Lazcano et al., 2015a; Lazcano y Pacheco-Treviño, 2015b).

RESULTADOS

Documentamos un total de 16 especies que conforman a la herpetofauna en la localidad del Ejido La Marcela (Tabla 1). En el caso del Ejido "La Perra", encontramos un total de nueve especies (Tabla 2). Elaboramos un par de tablas con las listas de especies y además incluimos el estatus de conservación en

la Nom 059 de Semarnat (2019), la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, y el Índice de Vulnerabilidad Ambiental de cada especie (Wilson et al., 2013; Terán-Juárez et al., 2016). Del total de 20 especies que componen la herpetofauna en este estudio, estas representan el 10 % de la diversidad herpetofaunística a nivel estatal (Terán-Juárez et al., 2016) hay un total de 13 especies endémicas de México y un total 2 especies endémicas de Tamaulipas. Respecto al estatus de conservación un total de 11 especies se encuentran en la categoría de más alta vulnerabilidad de acuerdo con el Índice de Vulnerabilidad Ambiental (Tabla 1). Las especies en la categoría de “En Peligro” (EN) son un total de dos

y tres especies en la categoría de “Vulnerable” (VU) de acuerdo con la IUCN. En el caso de la Nom 059, un total de 14 especies no se encuentran enlistadas y solamente dos especies se encuentran en la categoría de especie Amenazada (A).

En ambas localidades observamos que las poblaciones de *Crotalus morulus* y de la herpetofauna asociada sufren de varios problemas o presiones ambientales, la mayoría siendo por causa de factores antropogénicos como son la matanza indiscriminada, la pérdida de su hábitat por el cambio de uso de suelo e incendios forestales, así como también el tráfico ilegal de especies.

Tabla 1.-Lista preliminar de la herpetofauna del Ejido La Marcela, Miquihuana, Tamaulipas

Especie	Nom 059	IUCN	EVS
Orden Anura			
Familia Eleutherodactylidae			
<i>Eleutherodactylus longipes*</i>	NE	LC	15
Familia Scaphiopodidae			
<i>Scaphiopus couchii</i>	NE	LC	3
Familia Hylidae			
<i>Dryophytes eximius*</i>	NE	LC	10
Orden Caudata			
Familia Plethodontidae			
<i>Aquiloerycea galeanae*</i>	A	VU	18
<i>Chiropterotriton miquihuanus**</i>	NE	EN	18
Orden Squamata			
Familia Anguidae			
<i>Barisia ciliaris*</i>	NE	NE	15
Familia Scincidae			
<i>Plestiodon dicei*</i>	NE	NE	12
Phrynosomatidae			
<i>Phrynosoma orbiculare*</i>	A	LC	12
<i>Sceloporus chaneyi*</i>	NE	EN	15
<i>Sceloporus grammicus</i>	Pr	LC	9
<i>Sceloporus torquatus*</i>	NE	EN	15
Familia Natricidae			
<i>Storeria hidalgoensis*</i>	NE	VU	13
<i>Thamnophis pulchrilatus*</i>	NE	LC	15
Familia Viperidae			
<i>Crotalus molossus</i>	Pr	LC	8
<i>Crotalus morulus*</i>	NE	NE	16
<i>Crotalus pricei</i>	Pr	LC	14

Nom 059 SEMARNAT (2019): NE: No enlistada; Pr=Protección especial; A=Amenazada; P=Peligro de extinción. Lista Roja de la IUCN: NE=No enlistada; LC=Least concern (preocupación menor); VU=Vulnerable; EN=Peligro de extinción. EVS (Índice de Vulnerabilidad Ambiental: Wilson et al., 2013): L= Low (bajo) 3-9; M=Medium (Medio) 10-13; H=High (alto) 14-20. *=Especie endémica de México. **= Especie endémica estatal.

Tabla 2.- Lista preliminar de la herpetofauna en El Ejido El Porvenir “La Perra”, Gómez Farías, Tamaulipas

Especie	Nom 059	IUCN	EVS
Orden Anura			
Familia Hylidae			
<i>Dryophytes eximius*</i>	NE	LC	10
Orden Caudata			
Familia Plethodontidae			
<i>Chiropterotriton cracens**</i>	NE	VU	17
Orden Squamata			
Familia Scincidae			
<i>Plestiodon dicei*</i>	NE	NE	12
Familia Phrynosomatidae			
<i>Sceloporus grammicus</i>	Pr	LC	9
<i>Sceloporus torquatus*</i>	NE	LC	15
Familia Xantusiidae			
<i>Lepidophyma sylvaticum*</i>	NE	LC	11
Familia Natricidae			
<i>Storeria hidalgoensis*</i>	NE	VU	13
Familia Dipsadidae			
<i>Geophis latifrontalis*</i>	NE	DD	14
Familia Viperidae			
<i>Crotalus morulus*</i>	NE	NE	16

Nom 059 SEMARNAT (2019): NE= No enlistada; Pr=Protección especial; A=Amenazada; P=Peligro de extinción. Lista Roja de la UICN: NE=No enlistada; DD= Datos deficientes; LC=Least concern (preocupación menor); VU=Vulnerable; EN=Peligro de extinción. EVS (Índice de Vulnerabilidad Ambiental: Wilson et al., 2013): L=Low (bajo) 3-9; M=Medium (Medio) 10-13; H=High (alto) 14-20. *=Especie endémica de México. **= Especie endémica estatal.

CONCLUSIONES

La víbora de cascabel de las rocas tamaulipeca (*Crotalus morulus*) es una especie de serpiente poco conocida, pobremente documentada y vulnerable, que carece de protección efectiva y que además sufre de persecución por parte del ser humano por motivos de pérdida de su hábitat, matanza indiscriminada y tráfico ilegal de especies.

Las comunidades en donde habita naturalmente *Crotalus morulus* en Tamaulipas, sufren de un abandono a todos los niveles tanto social como ambientalmente. La pobreza rural, la degradación ambiental y además la falta de recursos y capacidades de las instituciones ambientales, no permiten garantizar la protección efectiva y conservación a perpetuidad de esta especie y de la herpetofauna asociada a los hábitats naturales de los que previamente se habló. Sin olvidarnos de bienestar de estas comunidades.

Al presente, más allá de nuestros datos de campo de tipo anecdótico y foto documental, carecemos de información mucho más completa que nos permita conocer a cabalidad la viabilidad a largo plazo de las poblaciones de *Crotalus morulus* en Tamaulipas. Consideramos que urgen planes de manejo y

conservación que permitan crear un escenario menos incierto para esta especie, su hábitat y las especies simpátricas.

Recomendamos al gobierno del estado de Tamaulipas el garantizar la inclusión y fortalecimiento del factor social para la efectiva conservación de esta especie y de la biodiversidad asociada. Urge vigilancia para evitar así problemas ambientales tan serios y graves como el caso del saqueo y tráfico ilegal de especies en ambas zonas de estudio. Así, como también la implementación de campañas de información, educación y concientización sobre el estado de conservación y protección de esta especie y de la biodiversidad asociada (Caballero-Cruz et al., 2016; García-Alaniz et al., 2017).

AGRADECIMIENTOS

A los ejidatarios de La Marcela por permitirnos explorar su territorio. A Emiliano Méndez-Salinas, Leccinum García-Morales, Marcio Martins y Gustavo Arnaud por su valiosa colaboración en la etapa de trabajo de campo. El Ingeniero Jean Louis Lacaille-Muzquiz proporcionó datos sobre la localidad de Ejido “La Perra”. Edgar Emmanuel Hernández-Juárez elaboró el mapa de distribución de *Crotalus morulus*.



LITERATURA CITADA

- Caballero-Cruz, P., Herrera-Muñoz, G., Berriozabal-Islas, C., y Pulido, M. T. 2016. Conservación basada en la comunidad: importancia y perspectivas para Latinoamérica. *Estudios Sociales*. 48: 337-353.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2005. "Estudio Previo Justificativo para el establecimiento de la Reserva de la Biosfera Sierra de Tamaulipas". México, D.F. Pp. 89.
- Dirzo, R., y Raven, P. H. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*. 28: 137-167.
- Gómez-Rodríguez, J.F., y Salazar-Olivo, C.A. 2012. Arañas de la región montañosa de Miquihuana, Tamaulipas: listado faunístico y registros nuevos. *Dugesiana* 19(1):1-7.
- García-Alaniz, N., Eqihua, M., Pérez-Maqueo, O., Equihua-Benítez, J., Maeda, P., Pardo Urrutia, F., Flores Martínez, J., Villela-Gaytán, S. A., y Schmidt, M. 2017. The Mexican national biodiversity and ecosystem degradation monitoring system. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 26: 62-68.
- Heimes, P. 2016. *Herpetofauna Mexicana Vol. 1. Snakes of Mexico*. Edition Chimaira, Frankfurt am Main. Pp.572.
- Johnson, J.D., Wilson, L.D., Mata-Silva, V., García-Padilla, E., y DeSantis, D.L. 2017. The endemic herpetofauna of Mexico: organisms of global significance in severe peril. *Mesoamerican Herpetology* 4: 543-620.
- Klauber, L.M. 1952. Taxonomic studies on rattlesnakes of Mainland Mexico. *Bulletins of the Zoological Society of San Diego* (26): 1-143.
- Klauber, L.M. 1997. *Rattlesnakes: Their Habitats, Life Histories, and Influence on Mankind*. Second Edition. First published in 1956, 1972. University of California Press, Berkeley.
- Lazcano, D., Banda-Leal, J., Castañeda-Gaytán, G., García de la Peña, C., y Bryson, R.W. 2004a. *Crotalus lepidus* (Tamaulipean Rock Rattlesnake) Diet. *Herpetological Review*. 35(1): 62-63.
- Lazcano, D., Contreras-Balderas, A., González-Rojas, J.I. Castañeda-Gaytán, G., García-de la Peña, C., y Solís-Rojas, C. 2004b. Notes on Herpetofauna # 6: Herpetofauna of the Sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza, Nuevo León, Mexico: Preliminary List. *Bulletin Chicago Herpetological Society* 39 (10): 181-187.
- Lazcano, D., Pacheco-Treviño, S., Nevárez de los Reyes, M., Banda-Leal, J., y Barriga-Ibarra, C. 2015a. Notes on Mexican Herpetofauna # 25: Association of Herpetofauna with Agaves in the States of Nuevo Leon and Tamaulipas, Mexico. *Bulletin of the Chicago Herpetological Society* 50(6):77-86.
- Lazcano, D., y Pacheco-Treviño, S. 2015b. Sierra San Antonio Peña Nevada, Zaragoza, Nuevo León: La Herpetofauna y los Agaves de la Sierra. *Planta Año 9* (19): 26-32. Universidad Autónoma de Nuevo León. Julio-Diciembre 2014.
- López-Barrera, F., Martínez-Garza, C., y Ceccon, E. 2017. Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88: 87-112.
- Macouzet-Pacheco, M.V., Estrada-Castillón, E., Jiménez-Pérez, J., Villarreal-Quintanilla, J.A., y Herrera-Monsiváis, M.C. 2013. *Plantas Medicinales de Miquihuana, Tamaulipas*. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Martin, P. S. 1955. Herpetological records from the Gómez Farías region of southwestern Tamaulipas, México. *Copeia* 1955(3): 173-180.
- Martin, P. S. 1958. A biogeography of reptiles and amphibians in the Gómez Farias region, Tamaulipas, Mexico. *Miscellaneous Publication, Museum of Zoology, University of Michigan* 101: 1-102.
- Plascencia, R.L., Castañón Barrientos, A., y Raz-Guzmán, A. 2011. La biodiversidad en México su conservación y las colecciones Biológicas Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México 101:36-43.
- Price, S. M. 2014. *Guide to the Rock Rattlesnakes of Mexico*. ECO Publishing. Pp. 121.
- Sarukhán, J. et al., 2017. *Capital natural de México. Síntesis: evaluación del conocimiento y tendencias de cambio, perspectivas de sustentabilidad, capacidades humanas e institucionales*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- SEMARNAT. 2019. MODIFICACIÓN del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010.



- Terán-Juárez, S. A., E. García-Padilla, E., Mata-Silva, V., Johnson, J.D., y Wilson, L.D. 2016. The herpetofauna of Tamaulipas, Mexico: composition, distribution, and conservation. *Mesoamerican Herpetology* 3: 43-113.
- Terán-Juárez, S. A., García-Padilla, E., Leyto-Delgado, F.E., y García-Morales, L.J. 2015. Distribution Notes. New records and distributional range extensions for amphibians and reptiles from Tamaulipas, Mexico. *Mesoamerican Herpetology* 2: 208- 214.
- Toussaint. A. 2015. México Megadiverso. Un Poema de Vida SEMARNAT. Pp.359.
- Wilson, L. D., Mata-Silva, V., y Johnson, J.D. 2013a. A conservation reassessment of the reptiles of Mexico based on the EVS measure. Special Mexico Issue. *Amphibian & Reptile Conservation* 7: 1-47.
- Wilson, L. D., Johnson, J.D., y Mata-Silva, V 2013b. A conservation reassessment of the amphibians of Mexico based on the EVS measure. Special Mexico Issue. *Amphibian & Reptile Conservation* 7: 97-127.

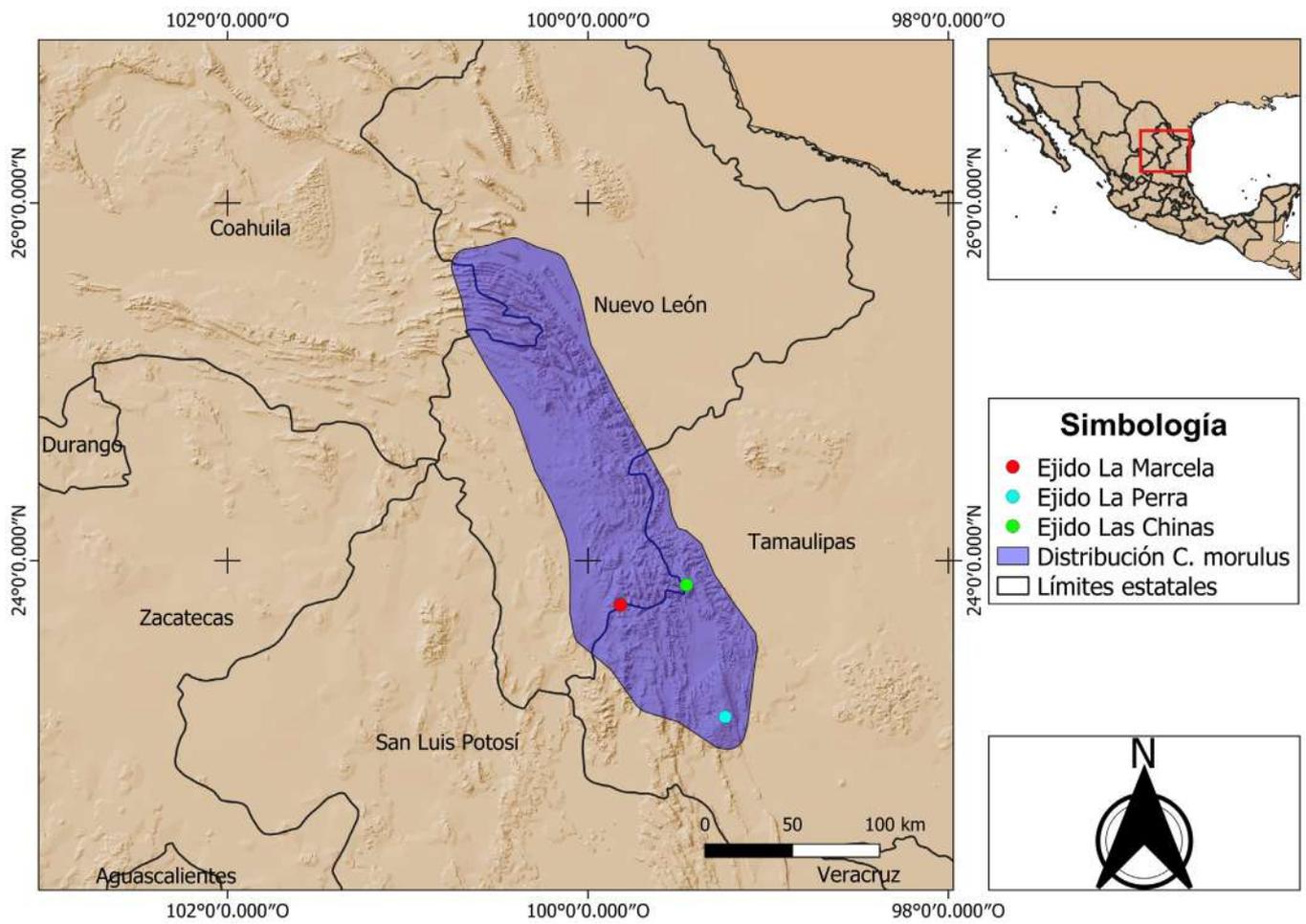


Figura 1.-Distribución general de *Crotalus morulus* en el noreste de México, y su ubicación en los ejidos El Porvenir ("La Perra") en el municipio de Gómez Farías, La Marcela en el municipio de Miquihuana, y Las Chinas en el municipio de Güémez. Crédito: Edgar Emmanuel Hernández-Juárez

Figura 2.-Vista panorámica del Ejido El Porvenir ("La Perra"). Fotografía por Elí García-Padilla





Figura 3.-Ejido La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla

Figura 3b.-Un atardecer en el Ejido La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla

Figura 4.- *Eleutherodactylus longipes*, Ejido La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García Padilla



Figura 5.-*Dryophytes eximius*, Ejido El Porvenir ("La Perra"), Gómez Farías. Fotografía por Elí García Padilla

Figura 6.-*Aquiloerycea galeanae*, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla

Figura 7.-*Barisia ciliaris*, Ejido La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla





Figura 8.-*Plestiodon dicei*,
Fotografía por Elí García-Padilla

Figura 9.-*Phrynosoma orbiculare*,
Ejido La Marcela. Fotografía por Elí
García-Padilla

Figura 10.-*Sceloporus chaneyi*,
Ejido La Marcela, Miquihuana.
Fotografía por Elí García-Padilla



Figura 11.-*Sceloporus grammicus*, Ejido La Perra, Gómez Farías. Fotografía por Elí García-Padilla

Figura 12.-*Sceloporus torquatus*, Ejido La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla

Figura 13.-*Lepidophyma sylvaticum*, Ejido El Porvenir ("La Perra"), Gómez Farías. Fotografía por Elí García-Padilla





Figura 15.-*Geophis latifrontalis*, Ejido El Porvenir ("La Perra"), Gómez Farías. Fotografía por Elí García-Padilla



Figura 16.-*Thamnophis pulchrilatus*, La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla



Figura 17.-*Crotalus molossus*, La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla



Figura 18.-*Crotalus molossus* y *Crotalus morulus*, Ejido La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla

Figura 19.-*Crotalus pricei*, Ejido La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla

Figura 20.-*Crotalus morulus* y campesino, Ejido La Marcela, Miquihuana. Fotografía por Elí García-Padilla

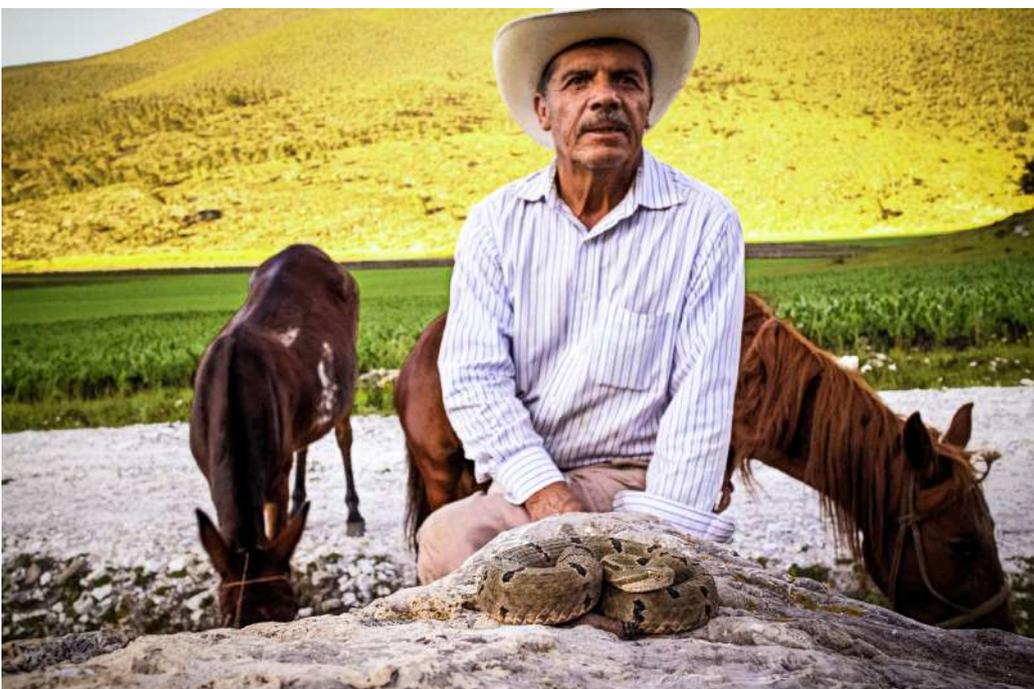


Figura 21.-*Crotalus morulus*, Ejido La Marcela, Miquihuana. A través de su distribución hay una gran variedad de morfes. Fotografía por Elí García-Padilla

Figura 22.-*Crotalus morulus*, Ejido La Marcela, Miquihuana. Aquí se observa otro de los morfos de la misma localidad. Fotografía por Elí García-Padilla.



APUNTES SOBRE LA PRESENCIA DE LA VÍBORA DE CASCABEL DE LAS ROCAS TAMAULIPECA (*CROTALUS MORULUS*) EN TAMAULIPAS



GARRAPATA CAFÉ DEL PERRO: EL HUÉSPED DE TU MASCOTA NO DESEADO

/// MAGDA CECILIA LÓPEZ GRIMALDO, JORGE JESÚS
RODRÍGUEZ ROJAS Y ROSA MARÍA SÁNCHEZ CASAS



Palabras clave: Enfermedades transmitidas por garrapatas, Garrapata café del perro, *Rhipicephalus sanguineus*, vectores de bacterias.

Key words: Brown dog tick, bacterial vectors, *Rhipicephalus sanguineus*, Tick-borne diseases.



RESUMEN

En el presente artículo se expone la biología de la garrapata *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1806), conocida como la garrapata café del perro por su afinidad de alimentarse por ellos. Su ciclo de vida consta de cuatro etapas, desde el huevo, larva, ninfa y adulto. Además, se explican las estrategias que tiene la garrapata para buscar y alimentarse de los perros. Su importancia radica en el gran número de ejemplares que pueden encontrarse en viviendas con animales domésticos propensos a atraerlas, ya que es un vector importante en el área médica y veterinaria debido a las diversos patógenos que puede transmitir. Por lo cual también se presentan algunas recomendaciones de prevención para su control.

ABSTRACT

This article discusses the biology of the *Rhipicephalus sanguineus* tick, known as the brown dog tick due to its affinity for feeding on them. Its life cycle consists of four stages, from the egg, larva, nymph and adult. In addition, the strategies that the tick has to search for and feed on dogs are explained. Its importance lies in the large number of specimens that can be found in homes with domestic animals prone to attracting them, that it is an important vector in the medical and veterinary area due to the various pathogens it can transmit. Therefore, some prevention recommendations for its control are also presented.

INTRODUCCIÓN

Las garrapatas son artrópodos que pertenecen al orden Ixodida y a la familia Ixodidae, a los integrantes de esta familia se les llama garrapatas duras, debido a que poseen en el cuerpo una "placa dorsal esclerotizada" que las distingue de otras. De esta familia se reconocen 729 especies en todo el mundo (Guglielmo *et al.*, 2020). Incluyendo a la garrapata café del perro que lleva por nombre científico *Rhipicephalus sanguineus*, la cual fue descrita por primera vez con ejemplares de Francia en 1806 por el entomólogo francés Pierre André Latreille con el nombre "*Ixodes sanguineus*". Desde el 2015 se reconocen 14 especies que están dentro del complejo de *Rhipicephalus sanguineus* (Dantas-Torres y Otranto, 2015).

La garrapata *Rhipicephalus sanguineus* tiene una distribución mundial, y en América se puede dividir en dos linajes, el linaje templado (también llamado *Rhipicephalus sanguineus sensu stricto*) que está en la parte de Norteamérica y parte del Cono Sur; mientras que el linaje tropical (*Rhipicephalus linnaei* (Audouin, 1826)) se encuentra en México, Centroamérica y Sudamérica (Dantas-Torres y Otranto, 2015; Sánchez-Montes *et al.*, 2021; Šlapeta *et al.*, 2021; 2022). Sin embargo, en este documento nos referiremos a *Rhipicephalus sanguineus* como un complejo.

Estas garrapatas suelen ser pequeñas, ornamentadas y con ligeras diferencias morfológicas entre macho y hembra (dimorfismo sexual). Estos artrópodos necesitan de sangre para su desarrollo biológico, pero al alimentarse se adhieren a la piel del hospedero, por lo que se les llama ectoparásitos, que pueden llegar a elegir una gran diversidad de animales tanto silvestres como domésticos incluyendo al humano. Pero en el caso de la garrapata café del perro, es muy común encontrarla en las mascotas caninas. Estas se alimentan durante largos períodos de tiempo, y su mordedura puede ser inicialmente indolora y pasar desapercibida durante horas o incluso días (Dantas-Torres, 2008; Estrada-Peña, 2015). Asimismo, tiene una gran importancia médica y veterinaria, por lo cual es significativo que podamos conocer y aprender sobre ella, ya que no solo podría afectar a nuestros animales sino también a nosotros mismos como humanos.

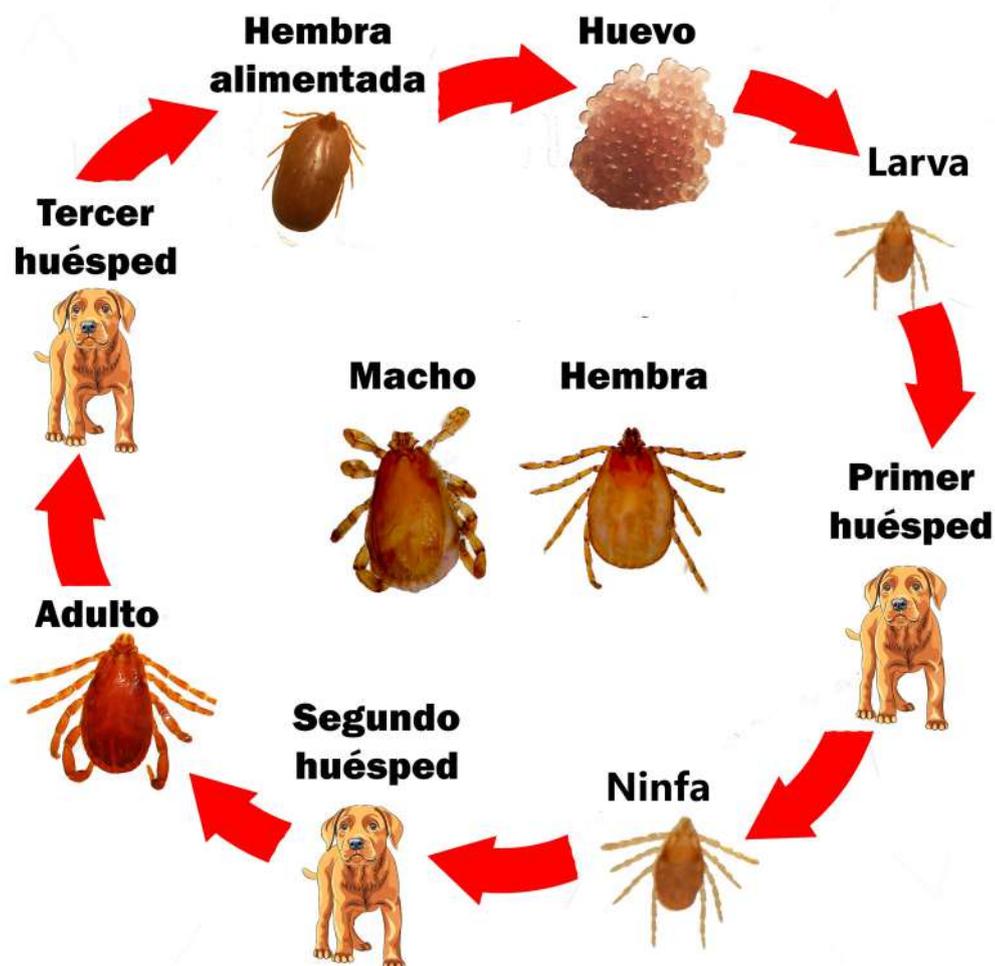


Figura 1. Ciclo de vida de la garrapata café del perro, *Rhipicephalus sanguineus*, donde la hembra alimentada coloca los huevos en el ambiente, estos se desarrollan y sale la larva que se alimenta de un primer huésped, esta larva se convierte en ninfa para después pasar al adulto.

CICLO DE VIDA DE LA GARRAPATA CAFÉ DEL PERRO

Al igual que todos los seres vivos, este arácnido también tiene su ciclo biológico, que comienza desde un huevo y termina como adulto (Figura 1), pero necesita de tres hospederos ya que cada etapa de vida (larva, ninfa y adulto) se alimenta de cada hospedero y el cambio de etapa a etapa (muda o ecdisis) ocurre en el ambiente.

Las garrapatas hembra adulta se alimentan del hospedero entre cinco a 21 días, una vez que se completa la alimentación, se separa y luego deja al hospedero para digerir su comida de sangre y poner sus huevos en un lugar seguro. Antes de la puesta de huevos (oviposición) hay un tiempo que varía de tres a 14 días, posterior a eso hay un periodo promedio de oviposición de 17 días. Una hembra bien alimentada (Figura 2) puede poner un gran número de huevos, la cantidad puede variar de 4,000 a 7,273 huevos (Figura 3) según las condiciones climáticas, con la temperatura óptima entre 20 y 30 °C (Dantas-Torres, 2008). La hembra suele colocar estratégicamente los huevos en grietas por encima del nivel del suelo cerca de algún posible huésped, el período de incubación del huevo va desde los seis a los 23 días. La garrapata hembra muere después de terminar de colocar sus huevos.

Después salen las larvas de los huevos e inmediatamente comienzan a buscar un hospedero en el que se adhieren para alimentarse, esto suele durar de tres a 10 días en promedio hasta que están

bien alimentadas, posteriormente se despegan del hospedero y mudan en el ambiente entre cinco y 15 días. En caso de no encontrar con que alimentarse, estas pueden llegar a sobrevivir hasta ocho meses (Dantas-Torres, 2008; Estrada-Peña, 2015).

La siguiente fase que enfrentan es su etapa de ninfa, esta ninfa al igual que la larva busca un hospedero para alimentarse, una vez en él, el proceso de alimentación puede durar de tres a 11 días, ya que se alimenta por completo, sale del hospedero para buscar un sitio y así mudar al adulto, proceso que puede durar de nueve a cuarenta y siete días. En caso de no encontrar una fuente de alimentación, una ninfa puede sobrevivir alrededor de seis meses (Dantas-Torres, 2008).

En la etapa adulta busca dos cosas, alimentarse y reproducirse, estas actividades las realiza en el hospedero. En caso de no encontrar un hospedero para alimentarse pueden sobrevivir durante 19 meses sin alimento (Dantas-Torres, 2008). La alimentación es muy importante en esta etapa para estimular el apareamiento y por ende la reproducción. En el apareamiento, el macho busca el vientre de la hembra para estimular la abertura genital femenina (gonoporo) e insertar un saco lleno de esperma (espermátforo) (Dantas-Torres, 2010).

Un ciclo de vida tarda en completarse un promedio de 63 a 91 días, por lo que puede completar hasta cuatro generaciones por año si la garrapata encuentra las condiciones estables y favorables como el alimento,



Figura 2. Vista frontal (fotografía izquierda) y ventral (fotografía derecha) de la garrapata *Rhipicephalus sanguineus* hembra alimentada.

clima y disponibilidad de una pareja. Sin embargo, este ciclo de vida puede variar de una población de garrapatas dependiendo de su región (Dantas-Torres, 2008; 2010).

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DISTINTIVAS DE LA GARRAPATA CAFÉ DEL PERRO

Los huevos son muy pequeños, esféricos y de color marrón oscuro. Las larvas son pequeños puntos rojos de 0.54 mm de largo y 0.39 mm de ancho, y tienen solo tres pares de patas. Carecen de placas espiraculares, por lo que la respiración la efectúan a través de la cutícula. Las ninfas se parecen más al adulto en la forma, ya que tiene ocho patas, pero es más pequeña con una longitud promedio de 1.22 mm y una anchura promedio de 0.62 mm; son sexualmente inmaduras, por lo que no tienen abertura genital; presenta dos placas espiraculares o espiráculos situados detrás del cuarto par de patas, por donde se lleva a cabo la respiración (Dantas-Torres, 2008; 2010; Estrada-Peña, 2015).

Por otra parte, los adultos son más grandes y sexualmente maduros con el poro genital en el centro de la cara ventral, presentan palpos cortos, ornamentaciones, ojos y festones presentes, base hexagonal de los capítulos. El órgano llamado "capítulo" está formado por piezas bucales como un par de quelíceros, dos palpos segmentados y el hipostoma con dientes (Dantas-Torres, 2008; 2010).



Figura 3. Puesta de huevos de la garrapata café del perro, *Rhipicephalus sanguineus*.

Además, los machos tienen las placas espiraculares en forma de coma y la coxa I está profundamente hendida, con tamaño promedio de 2.73 mm de largo por 1.40 mm de ancho, de color marrón rojizo con pequeños hoyos esparcidos por la espalda. Los machos a diferencia de las hembras presentan un escudo dorsal que cubre todo su cuerpo (Figura 4), mientras que en las hembras se limita a la mitad anterior. Las hembras adultas se parecen a los machos en la forma, color y tamaño antes de la alimentación, el tamaño promedio es de 2.60 mm de largo por 1.60 de ancho. Después de alimentarse de sangre, puede agrandarse hasta 11.5 mm de largo por 7.5 mm de ancho, y la parte agrandada del cuerpo se vuelve azul grisáceo a verde militar. Igualmente, las hembras presentan "áreas porosas" que se localizan en la superficie dorsal del capítulo. Estas áreas porosas producen unas sustancias que empapan los huevos para protegerlos (Dantas-Torres, 2008; 2010; Estrada-Peña, 2015).

¿DÓNDE Y CUÁNDO SE ENCUENTRAN LAS GARRAPATAS CAFÉS DEL PERRO?

Tanto el linaje tropical como el linaje templado pueden compartir regiones, las diferencias entre estos dos grupos es por el comportamiento que tienen ante eventos climáticos, por ejemplo, el grupo templado está restringido a temperaturas medias por debajo de los 20 °C, mientras que el grupo tropical prefiere la temperatura media anual que pase los 20 °C (Backus *et al.* 2021). Por lo que suelen presentarse en regiones tropicales, subtropicales y templadas, donde pueden sobrevivir a temperaturas de 20 a 35 °C y humedad de 35 a 95% (Dantas-Torres 2010; Dantas-Torres y Otranto, 2011). En las zonas templadas, son principalmente activas desde finales de primavera hasta principios de otoño, mientras que, en zonas más cálidas, pueden estar activos todo el año como es el caso de México.

En la República Mexicana está presente en 24 estados, desde el norte: Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas; centro: Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Michoacán, Morelos, Puebla, San Luis Potosí; y sur del país: Campeche, Chiapas, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Sánchez-Montes *et al.*, 2021) (Figura 5).

Esta especie de garrapata se ha adaptado para vivir dentro de los domicilios (endófila), muchas de las veces en los patios o porches donde descansan los animales de compañía como perros, comportamiento que le ha ayudado a mantener sus poblaciones cuando el clima es más extremo, ya que en esos lugares existe cierta amortiguación contra los efectos climáticos estacionales. Por lo que las temperaturas muy altas (> 40°C) o muy bajas (< 10°C) restringen de cierto modo y en parte la distribución de esta especie (Dantas-Torres, 2008). De esta manera, puede encontrarse tanto en áreas urbanas como en rurales siendo activas casi todo el año.

En las casas con alta infestación de garrapatas café del perro se les puede ver escalando las paredes ya que tiene una fuerte tendencia de arrastrarse hacia arriba (comportamiento llamado geotropismo negativo), también se pueden encontrar arrastrándose sobre alfombras, pisos y muebles. Pueden esconderse en cualquier tipo de grietas, generalmente cerca del lugar donde está el huésped. Pero en áreas abiertas, se les puede observar en el suelo o en la hierba (Dantas-Torres, 2010).

Algunas poblaciones de garrapatas pasan en promedio el 95% de su vida fuera del huésped bajo la influencia de muchos factores como de la estructura de su hábitat y el clima, pero este porcentaje puede variar de una región a otra. También tienen un patrón de separación del huésped, por ejemplo, las larvas exhiben una caída diurna, mientras que las ninfas y los adultos tienen un ritmo de caída nocturno (Dantas-Torres, 2010).

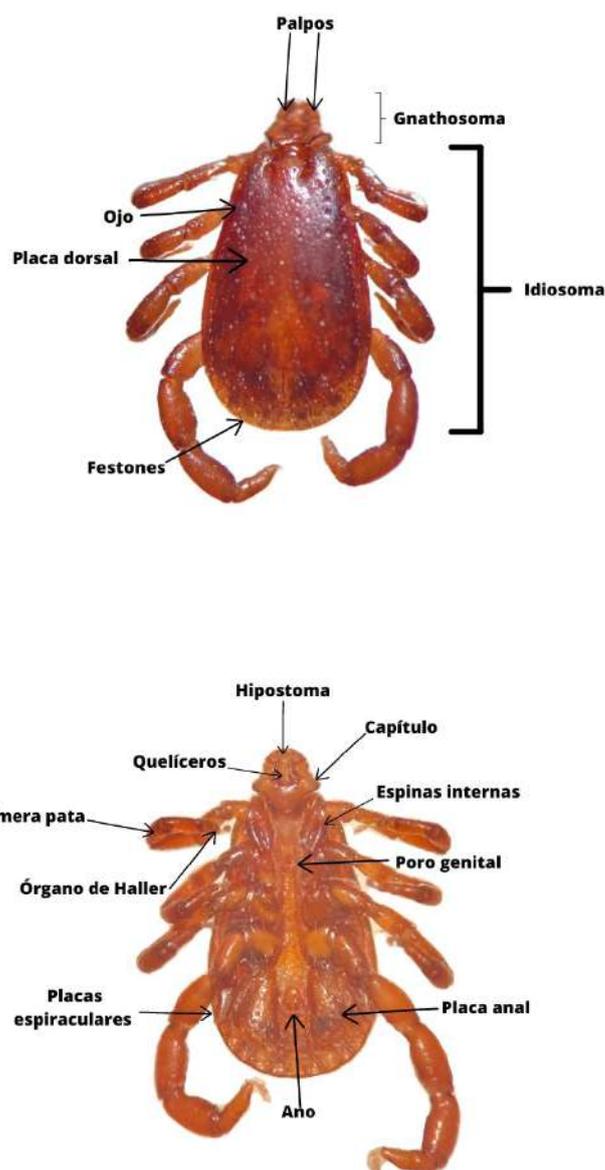


Figura 4. Características morfológicas específicas de la garrapata café del perro. Imagen superior muestra la parte dorsal de la garrapata macho, mientras que en la imagen inferior se observa la parte ventral de la garrapata macho.

Distribución de de la garrapata café del perro, *Rhipicephalus sanguineus*.

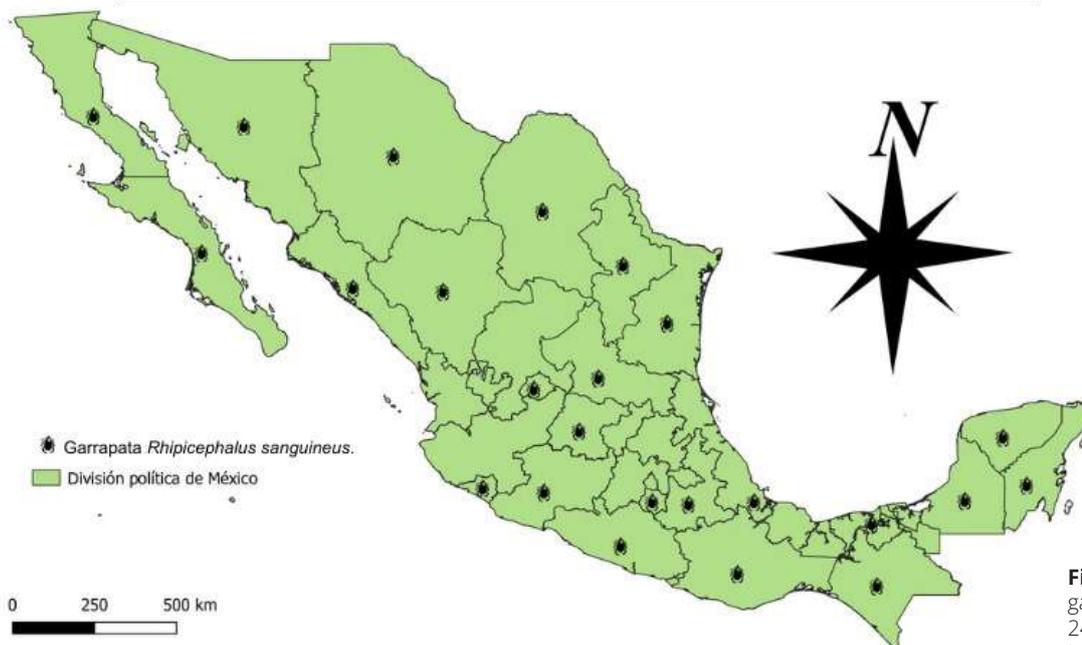


Figura 5. Distribución de la garrapata café del perro en 24 estados de la República Mexicana (modificado de Rodríguez-Vivas et al., 2023).

¿CÓMO ENCUENTRAN LAS GARRAPATAS A TUS MASCOTAS?

La garrapata *Rhipicephalus sanguineus* tiene un gran instinto ya que puede adoptar distintas estrategias para buscar a los hospederos y alimentarse. Para esto se apoya de las sustancias químicas (kairomonas) como el dióxido de carbono y el amoníaco que son emanadas por los animales, así como la temperatura corporal del hospedero. Las corrientes de aire junto con los olores les ayudan a ubicar al hospedero, por lo que las garrapatas salen de su hábitat para intentar treparse. Otra forma es que las garrapatas permanecen escondidas en las áreas de descanso del hospedero, esperando su llegada. Sin embargo, pueden adaptar diferentes comportamientos de búsqueda de hospedero (Dantas-Torres, 2008; 2010). El órgano de Haller que se encuentra en el tarso del primer par de patas es el órgano sensitivo con sensilas que le permite percibir olores, humedad, temperatura y vibraciones del hospedero (Caetano et al., 2017).

Las garrapatas pueden unirse a cualquier parte del perro, pero hay zonas como la espalda, la axila, regiones cerca de las extremidades inferiores, y las orejas donde suelen ser sus lugares más recurrentes para unirse. Por ejemplo, las garrapatas adultas prefieren las orejas, mientras que las garrapatas inmaduras prefieren el vientre y las patas traseras, pero generalmente se distribuyen de forma más homogénea en el cuerpo del perro (Figura 6z) (Dantas-Torres y Otranto 2011).

Un dato importante es que, factores como la salud, la edad y la raza del perro afecta en la carga de garrapatas, los perros jóvenes a comparación de perros avanzados de edad suelen presentar una mayor infestación, lo cual puede provocar

anemia, sobre todo si están infectados por patógenos que puedan transmitir (Dantas-Torres, 2010).

¿CÓMO ES SU PROCESO DE ALIMENTACIÓN?

Una vez que la garrapata está adherida a su hospedero, utiliza sus quelíceros (piezas bucales) para perforar la piel, estos pueden alcanzar a perforar diferentes capas de la piel y es capaz de liberar una sustancia que puede ser relacionada con el cemento, ya que ayuda a fijarse en la piel. Después, forma un cono en la parte de la superficie en la epidermis que puede extenderse al estrato córneo. Todo esto solo le lleva un tiempo aproximadamente de entre tres y cinco minutos en total (Dantas-Torres, 2010).

Al perforar la piel, provoca hemorragias que crean un estanque de sangre para alimentarse y succionar fluidos tisulares además de la sangre. Primero empieza alimentarse de sangre de forma lenta y continua y después de forma rápida. Dependiendo de su etapa de vida, es el periodo en el que terminará su alimentación, por ejemplo, para las larvas les puede tomar dos días alimentarse, a las ninfas les toma más días, pero las hembras pueden llegar a varias semanas y su tamaño incrementa hasta 15 veces. Muy diferente al comportamiento del macho, que ingiere múltiples comidas de sangre y pasa de un perro a otro, o también pueden permanecer durante largos periodos de tiempo en el hospedero (Dantas-Torres, 2010).

Durante este proceso de alimentación se pueden observar diferentes tiempos de succión y salivación con regurgitaciones, por lo que este proceso es importante en la transmisión de patógenos durante la alimentación

Cuadro 1. Lista de patógenos asociados a la garrapata café del perro en México.

Especie de patógeno	Enfermedad	Lugar	Referencias
<i>Rickettsia typhi</i>	Tifus murino o tifus endémico	Chiapas	Ulloa-García <i>et al.</i> , 2020
<i>Rickettsia rickettsii</i>	Fiebre de las Montañas Rocosas	Baja California, Coahuila	Eremeeva <i>et al.</i> , 2011; Sosa-Gutierrez <i>et al.</i> , 2016; Ortega-Morales <i>et al.</i> , 2019
<i>Rickettsia rhipicephali</i> *	Grupo de las fiebres manchadas	Coahuila	Ortega-Morales <i>et al.</i> , 2019
<i>Rickettsia amblyommatis</i>	Grupo de las fiebres manchadas	Tamaulipas	Salomon <i>et al.</i> , 2022
<i>Rickettsia parkeri</i>	Grupo de las fiebres manchadas	Tamaulipas	Salomon <i>et al.</i> , 2022
<i>Rickettsia andeanae</i>	Grupo de las fiebres manchadas	Tamaulipas	Salomon <i>et al.</i> , 2022
<i>Rickettsia felis</i>	Grupo de las fiebres manchadas	Puebla	Salceda-Sánchez <i>et al.</i> , 2023
<i>Ehrlichia canis</i>	Ehrlichiosis monocítica canina	Chihuahua, Yucatán, Nuevo León	Beristain-Ruiz <i>et al.</i> , 2022; Ojeda-Chi <i>et al.</i> , 2019; Pat-Nah <i>et al.</i> , Rodríguez-Rojas <i>et al.</i> , 2023; 2015; Sosa-Gutierrez <i>et al.</i> , 2016
<i>Ehrlichia chaffeensis</i>	Ehrlichiosis monocítica humana	Varias regiones de México	Sosa-Gutierrez <i>et al.</i> , 2016
<i>Anaplasma platys</i>	Trombocitopenia cíclica canina	Chihuahua	Beristain-Ruiz <i>et al.</i> , 2022;
<i>Anaplasma phagocytophilum</i>	Anaplasmosis Granulocítica Humana	Chihuahua	Prado-Ávila <i>et al.</i> , 2018; Sosa-Gutierrez <i>et al.</i> , 2016

Nota: *Rickettsia rhipicephali* no se considera una bacteria patógena.

sanguínea (Dantas-Torres, 2010). Una vez que la garrapata está completamente llena de sangre, se desprende del hospedero y se deja caer para buscar un lugar adecuado y así completar la digestión. Todo este proceso de alimentación es muy importante para completar su ciclo de vida y puede variar en tiempos dependiendo de la etapa de desarrollo de la garrapata, el hospedero y las condiciones ambientales (Dantas-Torres, 2010).

IMPORTANCIA VETERINARIA Y SALUD PÚBLICA DE LA GARRAPATA CAFÉ DEL PERRO

Además de que las garrapatas pueden causar en el perro dermatitis, prurito, estrés, respuestas alérgicas, anemia y alopecia, también existe suficiente evidencia que la garrapata café del perro tiene la capacidad de transmitir diferentes tipos de patógenos como las bacterias *Anaplasma platys*, *Babesia canis*, *Babesia vogeli*, *Coxiella burnetii*, *Ehrlichia canis*, *Hepatozoon canis*, *Rickettsia conorii* y *Rickettsia rickettsii* a los perros y otros animales. Como se mencionó anteriormente, existen al menos dos linajes de la garrapata café del perro, y cada uno probablemente difiera en su capacidad para transmitir diferentes patógenos (Dantas-Torres, 2008; 2010).

En México desde 1943, Bustamante y Varela (1943) reportaron que *Rhipicephalus sanguineus* estaba involucrado en la transmisión del agente causal (*Rickettsia rickettsii*) de la Fiebre de las Montañas Rocosas en Sinaloa y Sonora. Además, se tiene documentado que *Rhipicephalus sanguineus* está involucrado en la transmisión de diferentes especies de bacterias, por lo que en el siguiente cuadro (cuadro 1) se muestra cada una de las especies de bacterias, el lugar o estado donde se hizo el descubrimiento, así como algunas referencias.

PERO... ¿CÓMO SE INFECTA TU MASCOTA DE ALGÚN PATÓGENO POR MEDIO DE LA GARRAPATA?

Las garrapatas se infectan principalmente cuando ingieren sangre de un animal que contiene la bacteria. También pueden infectarse cuando la hembra pasa

el patógeno a sus huevos (transmisión transovarial o vertical), y luego los huevos de las garrapatas hembra infectados desarrollarán larvas infectadas, y a su vez, las larvas se convertirán en ninfas infectadas (transmisión transtadial) sin necesidad de la alimentación. En los humanos la infección se produce como en los animales domésticos, cuando una garrapata contenedora de los microorganismos patógenos se alimenta y pasa las partículas infectantes con su saliva (Estrada-Peña, 2015). Estos microorganismos entran al torrente sanguíneo del huésped, que se multiplican esparciendo la enfermedad. Los primeros signos y síntomas podrían aparecer dentro de 3 a 21 días después de la mordedura. Por ejemplo, cambios en el comportamiento o en el apetito sugiere una revisión rápida al veterinario (Dantas-Torres, 2008; 2010).

¿SABES CÓMO PREVENIR ESTE PROBLEMA EN TUS MASCOTAS Y EN TU CASA?

Para las enfermedades transmitidas por garrapatas se recomienda evitar que estas afecten a las mascotas y a los humanos, sin embargo, en caso de una infestación, se deben eliminar y tener un tratamiento preventivo para evitar la re-infestación, debe de haber un manejo del ambiente y el entorno del animal, ya que las garrapatas suelen estar presentes en estos lugares por largo tiempo.

Para prevenir la infestación de garrapatas se debe de tener en cuenta el control integrado, donde utilice diferentes técnicas y métodos para una reducción significativa y efectiva de garrapatas. Estas técnicas abarcan el control químico y biológico. Por un lado, el control químico engloba una gran variedad de preparaciones acaricidas como fipronil, amitraz, carbaril, deltametrina, permetrina y cipermetrina, las cuales son presentadas en fórmulas para untar, aerosoles, collares impregnados, champús, jabones y polvos para el animal.

Para esto, las recomendaciones que le dé su veterinario de confianza son muy importantes, del mismo modo, el examen físico regular de los perros con la extracción manual sirve mucho cuando son pocas garrapatas, para esto se deben de utilizar pinzas diseñadas para este fin,



Figura 6. Garrapatas cafés del perro, *Rhipicephalus sanguineus*, en el parpado superior del ojo derecho de un perro criollo.

se debe halar suavemente a la garrapata con las pinzas ejerciendo presión en todo momento y evitando hacer movimientos giratorios o bruscos ya que esto puede provocar que el aparato bucal de la garrapata se quede insertado en la mascota. Una vez removida, se debe de eliminar a través en un recipiente con alcohol, no debe de aplastarse con las manos ya que al tener contacto puede ser un medio de transmisión de los microorganismos patógenos, por lo que es recomendable usar guantes y así minimizar el contacto directo. Después de estos procedimientos manuales se recomienda lavar bien las manos con agua y jabón; las garrapatas removidas colocadas en alcohol pueden ser dirigidas a su centro de salud más cercano o algún centro de investigación de alguna Universidad que trabajen con estos organismos.

Pero también estos mismos acaricidas son usados en concentrados emulsionables para rociarse o esparcirse con agua sobre el piso o paredes del domicilio, y dependerá mucho del grado de infestación y de la duración del efecto residual del acaricida para los tiempos de aplicación, por lo que, se deben seguir siempre las indicaciones del fabricante. Ya que, de lo contrario, el uso inadecuado y abuso de estos acaricidas puede causar toxicidad para los humanos y otros organismos, así como contaminación ambiental. Como resultado a largo plazo, también puede llevar a la selección de garrapatas resistentes (Dantas-Torres, 2008). La Organización Mundial de la Salud hace una clasificación de plaguicidas por peligrosidad donde incluyen a los acaricidas para el control de garrapatas (WHO, 2006; 2019).

Además, Rodríguez-Vivas *et al.* (2023) hacen una lista actualizada de los principales acaricidas que se usan para el control de esta especie de garrapata, indicando el nombre del acaricidas, el nombre comercial, dosis, vías de administración y otros datos de interés.

Las estrategias no químicas para el control de las garrapatas son aquellas que involucran la modificación del ambiente de la mascota y por ende del humano. Es por esto que se recomienda tener el césped o jardín corto en las viviendas; sellar o resanar correctamente las hendiduras y grietas de la pared; tener orden y organización de los objetos apilados.

Como control biológico, el uso de hongos entomopatógenos que afectan a las garrapatas está ganando adeptos, ya que las especies de hongos *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* son efectivas en el control. Las formulaciones de estas dos especies de hongos son mortales para los adultos y su descendencia variando de una semana a un mes cuando se exponen directamente. Sin embargo, este manejo con hongos está condicionado por la baja humedad, las altas temperaturas y la exposición a los rayos ultravioleta (Sullivan *et al.*, 2022; Weeks *et al.*, 2020)

Además, no se recomienda llevar a las mascotas a zonas silvestres y conservadas. Por lo tanto, es muy importante evitar el contacto de la mascota con la flora y fauna silvestre. Ya que la mascota puede adquirir las garrapatas de estas áreas, y también pueden llevar sus enfermedades (por ejemplo, parvovirus canina o alguna otra enfermedad parasitaria o bacteriana que puede dejar en la orina y en las heces) a la fauna silvestre (Nava, 2017).

Por otro lado, cada vez hay más normalidad en llevar a los perros a lugares públicos como plazas comerciales o cines y obviamente también se convierten en lugares de transmisión de enfermedades zoonóticas.

CONCLUSIÓN

La garrapata común de perro suele estar muy presente tanto en la ciudad como en zonas rurales, con más presencia en algunas localidades que en otras; sin embargo, hay mucha información que las comunidades suelen no tomar en cuenta y ser ajena a ella. Se conoce que la mordedura de la garrapata es muy peligrosa sobre todo en humanos, pero realmente son muy poco conocidas todas las enfermedades que puede transmitir (por ejemplo, *Rickettsia rickettsii*, *Ehrlichia canis*, *Rickettsia conorii*). Esta información suele ser ignorada junto con el procedimiento adecuado para prevenirlas y deshacerse de ellas cuando están adheridas a la piel del animal o del ser humano, por lo cual es necesario que se haga difusión sobre el tema; conocer las generalidades biológicas importantes de estos artrópodos puede ayudar a las comunidades a optimizar estrategias para tener un mejor control del ambiente de sus mascotas y prevención de las enfermedades.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Eliud Abdiel Maldonado Salazar por la edición de la figura 1, y a Josué Severo Ortiz Barrera por la figura 5. Todas las fotografías de este documento fueron tomadas por Jorge Jesús Rodríguez Rojas. Agradecemos las observaciones y comentarios de un revisor anónimo que enriqueció mucho este documento.



LITERATURA CITADA

- Backus, L. H., Pérez, A. M. L., & Foley, J. E. (2021). Effect of temperature on host preference in two lineages of the brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus*. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 104(6), 2305. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-1376>
- Beristain-Ruiz, D. M., Garza-Hernández, J. A., Figueroa-Millán, J. V., Lira-Amaya, J. J., Quezada-Casasola, A., Ordoñez-López, S., & Rodríguez-Alarcón, C. A. (2022). Possible association between selected tick-borne pathogen prevalence and *Rhipicephalus sanguineus sensu lato* infestation in dogs from Juarez City (Chihuahua), Northwest Mexico-US Border. *Pathogens*, 11(5), 552. <https://doi.org/10.3390/pathogens11050552>
- Bustamante, M. E., & Varela, G. (1943). Una nueva rickettsiosis en México. Existencia de la Fiebre Manchada americana en los estados de Sinaloa y Sonora. *Revista del Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales*, 4(3), 189-211.
- Caetano, R. L., Vizzoni, V. F., Bitencourth, K., Carriço, C., Sato, T. P., Pinto, Z. T., ... & Gazeta, G. S. (2017). Ultrastructural morphology and molecular analyses of tropical and temperate "species" of *Rhipicephalus sanguineus sensu lato* (Acari: Ixodidae) in Brazil. *Journal of Medical Entomology*, 54(5), 1201-1212. <https://doi.org/10.1093/jme/tjx066>
- Dantas-Torres, F. (2008). The brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1806) (Acari: Ixodidae): from taxonomy to control. *Veterinary Parasitology*, 152(3-4): 173-185. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.12.030>
- Dantas-Torres, F. (2010). Biology and ecology of the brown dog tick, *Rhipicephalus sanguineus*. *Parasites & Vectors*, 3(1): 1-11. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-3-26>
- Dantas-Torres, F., & Otranto, D. (2011). *Rhipicephalus sanguineus* on dogs: relationships between attachment sites and tick developmental stages. *Experimental and Applied Acarology*, 53, 389-397. <https://doi.org/10.1007/s10493-010-9406-4>
- Dantas-Torres, F., & Otranto, D. (2015). Further thoughts on the taxonomy and vector role of *Rhipicephalus sanguineus* group ticks. *Veterinary Parasitology*, 208(1-2), 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.12.014>
- Eremeeva, M. E., Zambrano, M. L., Anaya, L., Beati, L., Karpathy, S. E., Santos-Silva, M. M., ... & Aranda, C. A. (2011). *Rickettsia rickettsii* in *Rhipicephalus* ticks, Mexicali, Mexico. *Journal of Medical Entomology*, 48(2), 418-421. <https://doi.org/10.1603/ME10181>
- Estrada-Peña, A. (2015). Orden Ixodida: Las garrapatas. *Revista IDE@ - SEA*, 13: 1-15. Disponible en: http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_13.pdf
- Guglielmone, A. A., Petney, T. N., & Robbins, R. G. (2020). Ixodidae (Acari: Ixodoidea): descriptions and redescriptions of all known species from 1758 to December 31, 2019. *Zootaxa*, 4871(1), 1-322. <https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4871.1.1>
- Nava, A. (2017). Perros: amigos del hombre, enemigos en la conservación del jaguar y el puma. *Ciencia Mx Noticias*, Agencia Informativa Conacyt, Ciudad de México, México. Disponible en: <http://cienciamx.com/index.php/ciencia/ambiente/18713-perros-areas-naturales-protegidas-conanp>
- Ortega-Morales, A. I., Nava-Reyna, E., Ávila-Rodríguez, V., González-Álvarez, V. H., Castillo-Martínez, A., Siller-Rodríguez, Q. K., ... & Almazán, C. (2019). Detection of *Rickettsia* spp. in *Rhipicephalus sanguineus sensu lato* collected from free-roaming dogs in Coahuila state, northern Mexico. *Parasites & Vectors*, 12(1), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3377-z>
- Ojeda-Chi, M. M., Rodríguez-Vivas, R. I., Esteve-Gasent, M. D., Pérez de León, A. A., Modarelli, J. J., & Villegas-Perez, S. L. (2019). Ticks infesting dogs in rural communities of Yucatan, Mexico and molecular diagnosis of rickettsial infection. *Transboundary and Emerging Diseases*, 66(1), 102-110. <https://doi.org/10.1111/tbed.12990>
- Pat-Nah, H., Rodríguez-Vivas, R. I., Bolio-Gonzalez, M. E., Villegas-Perez, S. L., & Reyes-Novelo, E. (2015). Molecular diagnosis of *Ehrlichia canis* in dogs and ticks *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae) in Yucatan, Mexico. *Journal of Medical Entomology*, 52(1), 101-104. <https://doi.org/10.1093/jme/tju010>
- Prado-Ávila, S. R., Rascón-Cruz, Q., Beristain-Ruiz, D. M., & Adame-Gallegos, J. R. (2018). Identificación del agente etiológico de la anaplasmosis granulocítica humana en la garrapata café de perro en Chihuahua, México. *Salud Pública De México*, 60, 377-378. <https://doi.org/10.21149/9153>
- Rodríguez-Vivas, R. I., Flota-Burgos, G. J., Bolio-González, M. E., Rosado-Aguilar, J. A., Gutiérrez-Ruiz, E. J., Torres-Castro, M., Panti-May, A., Reyes-Novelo, E. (2023). La garrapata café del perro, *Rhipicephalus sanguineus*: Biología y control. *Vanguardia Veterinaria*, 2023: 11-16. Disponible en: www.vanguardia veterinaria.com.mx/_files/ugd/d5d8b6_3baf217e-4ce4410196ef3f85be495c8c.pdf?index=true
- Rodríguez-Rojas, J. J., Hernández-Mariscal, T. L., Sánchez-Montes, S., Fernández-Salas, I., Sánchez-Casas, R. M., & Hernández-Escareño, J. J. (2023). Molecular Evidence of *Ehrlichia canis* (Rickettsiales: Anaplasmataceae) in Ticks (Ixodida: Ixodidae) Associated with Dogs (Carnivora: Canidae) from

- Nuevo Leon, Mexico. Vector-Borne and Zoonotic Diseases. <https://doi.org/10.1089/vbz.2023.0020>
- Salceda-Sánchez, B., Gasca-Zarate, C. M., Jiménez-Soto, K., Grostieta, E., López-Sánchez, C. G., Soto-Gutiérrez, J. J., ... & Sánchez-Montes, S. (2023). Molecular detection of *Rickettsia felis* in fleas and ticks collected from dogs and cats of Puebla, Mexico. *Zoonoses and Public Health*, 70(2), 176-183. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/zph.13011>
- Salomon, J., Fernandez Santos, N. A., Zecca, I. B., Estrada-Franco, J. G., Davila, E., Hamer, G. L., ... & Hamer, S. A. (2022). Brown Dog Tick (*Rhipicephalus sanguineus sensu lato*) infection with endosymbiont and human pathogenic *Rickettsia* spp., in Northeastern México. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 6249. <https://doi.org/10.3390/ijerph19106249>
- Sánchez-Montes, S., Salceda-Sánchez, B., Bermúdez, S. E., Aguilar-Tipacamú, G., Ballados-González, G. G., Huerta, H., ... & Colunga-Salas, P. (2021). *Rhipicephalus sanguineus* complex in the Americas: systematic, genetic diversity, and geographic insights. *Pathogens*, 10(9), 1118. <https://doi.org/10.3390/pathogens10091118>
- Šlapeta, J., Chandra, S., & Halliday, B. (2021). The “tropical lineage” of the brown dog tick *Rhipicephalus sanguineus sensu lato* identified as *Rhipicephalus linnaei* (). *International Journal for Parasitology*, 51(6), 431-436. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2021.02.001>
- Šlapeta, J., Halliday, B., Chandra, S., Alanazi, A. D., & Abdel-Shafy, S. (2022). *Rhipicephalus linnaei* (Audouin, 1826) recognised as the “tropical lineage” of the brown dog tick *Rhipicephalus sanguineus sensu lato*: Neotype designation, redescription, and establishment of morphological and molecular reference. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 13(6), 102024. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.102024>
- Sosa-Gutiérrez, C. G., Vargas-Sandoval, M., Torres, J., & Gordillo-Pérez, G. (2016). Tick-borne rickettsial pathogens in questing ticks, removed from humans and animals in Mexico. *Journal of Veterinary Science*, 17(3), 353-360. <https://doi.org/10.4142/jvs.2016.17.3.353>
- Sullivan, C. F., Parker, B. L., & Skinner, M. (2022). A review of commercial *Metarhizium*- and *Beauveria*-based biopesticides for the biological control of ticks in the USA. *Insects*, 13(3), 260. <https://doi.org/10.3390/insects13030260>
- Ulloa-García, A., Dzul-Rosado, K., Bermúdez-Castillero, S. E., López-López, N., & Torres-Monzón, J. A. (2020). Detection of *Rickettsia typhi* in *Rhipicephalus sanguineus sl* and *Amblyomma mixtum* in South Mexico. *Salud Pública de México*, 62(4), 358-363. <https://doi.org/10.21149/10160>
- Weeks, E. N. I., Allan, S. A., Gezan, S. A., & Kaufman, P. E. (2020). Auto-dissemination of commercially available fungal pathogens in a laboratory assay for management of the brown dog tick *Rhipicephalus sanguineus*. *Medical and Veterinary Entomology*, 34(2), 184-191. <https://doi.org/10.1111/mve.12426>
- World Health Organization. (2006). *Pesticides and their application: for the control of vectors and pests of public health importance*, 6th ed. World Health Organization, Geneva, 114 pp. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/69223>
- World Health Organization. (2019). *WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification*, 2019 edition. World Health Organization, Geneva, 99 pp. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240005662>

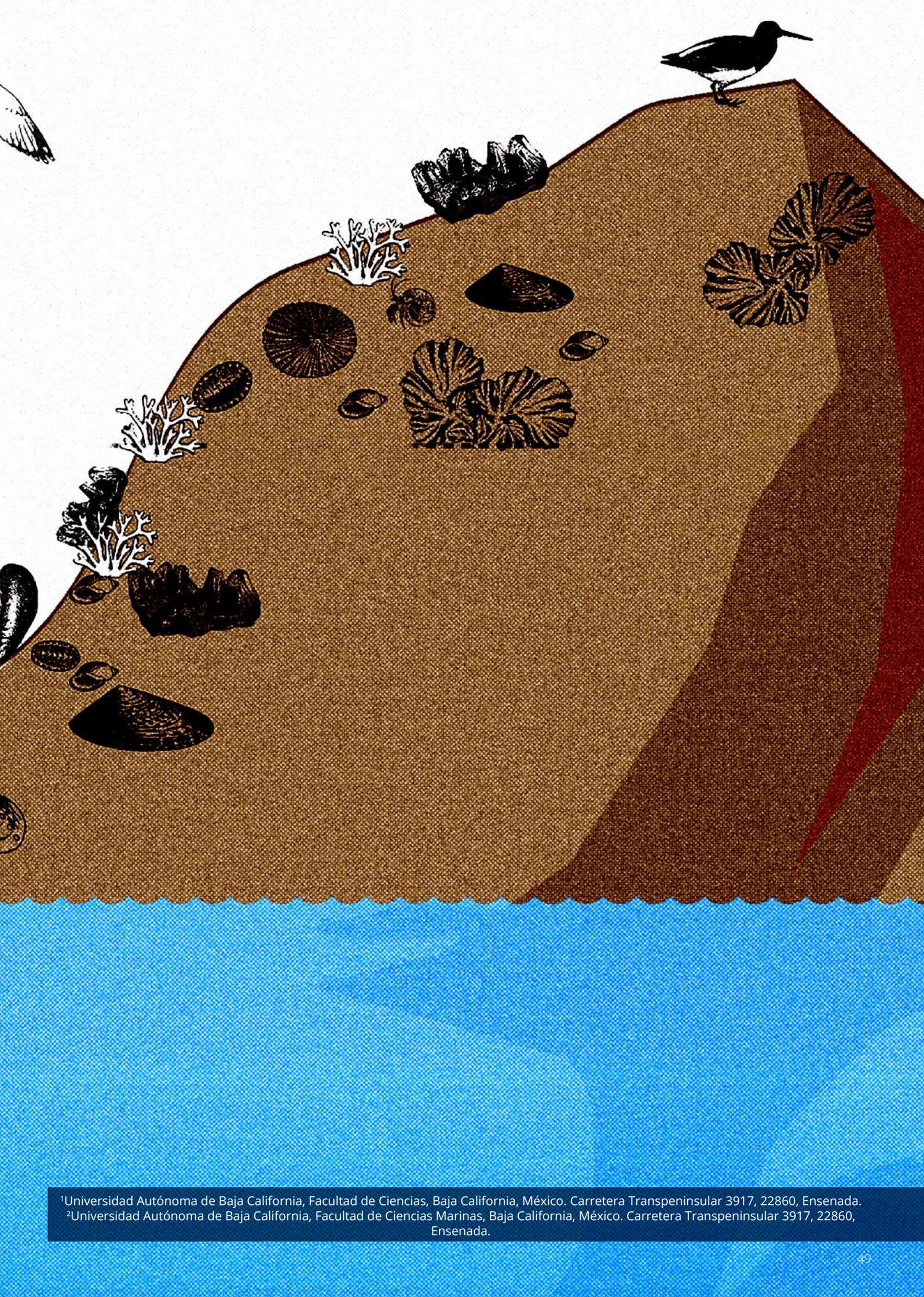


"LA VIDA EN LA ZONA INTERMAREAL:

ADAPTACIONES EN UN ECOSISTEMA CAMBIANTE"

OSMAR R. ARAUJO-LEYVA¹, JULIO LORDA SOLÓRZANO¹, MARCO ANTONIO MORIEL SÁENZ², SEBASTIÁN RUIZ MEJÍA¹, ALEJANDRO GONZALEZ ROJAS¹, LUCÍA TONALLI DURAZO SANDOVAL¹





¹Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, Baja California, México. Carretera Transpeninsular 3917, 22860, Ensenada.

²Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Baja California, México. Carretera Transpeninsular 3917, 22860, Ensenada.

RESUMEN

El ecosistema intermareal es una zona costera que se encuentra entre las mareas alta y baja. Esta zona es extremadamente importante, debido a que es el hogar de una gran cantidad de organismos marinos que dependen de las condiciones específicas de esta área para sobrevivir.

Las características de las zonas intermareales son tan distintas que es difícil comparar un acantilado rocoso con una marisma lodosa o incluso una pradera de pastos estuarinos. ¿Pero qué tienen en común estos ecosistemas a lo largo del mundo? La zona intermareal es la franja de tierra que se encuentra entre la línea de marea alta y la marea baja en la costa, y es un hábitat importante para muchas especies de plantas y animales, estos organismos que viven allí deben ser capaces de adaptarse a cambios extremos en las condiciones ambientales y dado la interacción del ser humano con estas áreas, hoy en día es uno de los hábitats más perturbados y amenazados del planeta.

La importancia de la zona intermareal radica en su papel como zona de transición entre los ecosistemas terrestres y marinos, y en su contribución a la biodiversidad global. En la zona intermareal se pueden encontrar una gran variedad de especies, como algas, crustáceos, moluscos, gusanos, aves costeras y migratorias, entre otras. Estas especies son importantes para la cadena alimentaria y contribuyen a la pesca y la acuicultura local de cada región. Además, la zona intermareal desempeña un papel crucial en la protección de la costa, ya que ayuda a prevenir la erosión costera y reduce la energía de las olas. Las plantas y animales que viven en la zona intermareal también son importantes para la purificación del agua y la absorción de nutrientes. El ecosistema intermareal es un área increíblemente importante que tiene un impacto significativo en el medio ambiente y en la vida de las personas. Es fundamental que se proteja y conserve para garantizar su supervivencia y su papel crítico en el ecosistema global.

ABSTRACT

The intertidal ecosystem is a coastal zone that is found between the high and low tides. This zone is extremely important because it is home to a large quantity of marine organisms that depend on the specific conditions of this area to survive.

The characteristics of the intertidal zones are so different that it is difficult to compare a rocky cliff with a mudflat, or even a seagrass meadow. But what do these ecosystems have in common across the world? The intertidal zone is a strip of land that is found between the high and low tide coast, and it is an important habitat for many species of plants and animals. The organisms that live there must be capable of adapting to extreme changes in the environmental conditions. Given the interactions of humans in these environments, nowadays these habitats are one of the most disturbed and threatened habitats on the planet.

The importance of the intertidal zone lies in its role as a transition zone between the terrestrial and marine ecosystems, and to their contribution to the global biodiversity. In the intertidal zone, it is possible to find a great variety of species, from algae, crustaceans, mollusks, worms and fish to coastal and migratory birds. These species are important to the trophic chain and contribute to the local fisheries and aquaculture of each region. Further, the intertidal zone performs a crucial role in the protection of the coast since it prevents coastal erosion and reduces the energy of the upcoming waves. The plants and animals that live in the intertidal zone are also important in the purification of water and nutrient absorption. The intertidal ecosystem is an incredibly important area that has a significant impact on the environment and the lives of people. It is fundamental to protect and conserve these areas to guarantee their survival and their critical role in the global ecosystem.



Palabras clave: Intermareal, ecología, biodiversidad

Keywords: intertidal, ecology, biodiversity

Introducción

El océano es un ecosistema caracterizado por su magnitud de hábitats, organismos y características físicas, tales como las mareas, las costas rocosas y las costas lodosas/arenosas. Dentro de la variedad de ecosistemas marinos que existen, el intermareal es uno de los más interesantes, puesto que cambia sus características según el área geográfica donde se ubique, lo que permite que se puedan catalogar como un intermareal que presenta desde llanas planicies de arena, hasta alzados precipicios junto a la costa (Raffaelli y Hawkins, 1995). Este ecosistema es considerado la última barrera que existe entre el mar y la vida terrestre, por ello, no es extraño encontrar una gran cantidad de especies. Estos singulares organismos han desarrollado sofisticadas adaptaciones para poder sobrevivir allí, debido a que la compleja dinámica del intermareal se caracteriza por poseer períodos oscilantes de mareas, uno de ellos se encuentra totalmente cubierto de agua durante algunas horas del día, mientras poco a poco la marea va disminuyendo paulatinamente hasta descubrir por completo decenas de metros mar costa. Por lo tanto, las criaturas que lo habitan han sobrevivido adaptándose a condiciones tanto del medio acuático, como habilidades para resistir periodos largos de sequedad o periodos semiacuáticos, así como a los cambios en el reacondo del sedimento (Airoidi y Cinelli, 1997).

Dentro de estas adaptaciones podemos encontrarnos a caracoles que pueden conservar la humedad durante las mareas bajas; almejas y mejillones que de la misma forma se cierran hasta que el agua aumente lo suficiente y les permita respirar y obtener alimento; además de algunas más complejas como la de algunos cangrejos que logran producir burbujas con su boca cuando están en tierra, esto con la intención de aérear sus branquias y obtener el oxígeno suficiente para sobrevivir durante los periodos que la marea se encuentra baja. De esta forma se puede comprender que el intermareal es un ecosistema complejo, pero aun con la cercanía y la interacción que los seres humanos tenemos con las costas, desconocemos muchas de sus características, formas, fauna y los cambios que estamos generando ante la misma presión que provocamos al habitar la costa, como la constante contaminación, el cambio de uso al construir y otras como suma de nuestras

actividades como el constante incremento de la temperatura debido al cambio climático. Por ende, este artículo tiene el objetivo de describir de manera sencilla las principales características de la zona intermareal, los organismos más comunes que habitan ahí y los retos a los que nos enfrentamos para poder conservar estas áreas tan ricas en nichos y biodiversidad, esto tomando como ejemplo las costas de Baja California, México.

¿QUÉ ES EL INTERMAREAL Y POR QUÉ ES TAN IMPORTANTE?

La zona intermareal representa la línea entre el mar y la tierra, esta zona es tan compleja debido a que su forma y dinámica cambia drásticamente según el área donde se observe, sin embargo a pesar de que una zona llena de rocas, cientos de metros de arena y lodos cubiertos de pastos no parecen compartir características similares, todas ellas tienen puntos medios o de "transición" en donde podemos encontrar plantas y animales con adaptaciones y funciones similares para habitar allí, por ende a continuación se enlistan algunas de las características más importantes que poseen de manera similar todos los tipos de zonas intermareal:

- 1. Biodiversidad:** Es uno de los ecosistemas más biodiversos del mundo, ya que es el hogar de una gran variedad de plantas y animales, muchos de los cuales son únicos y no se encuentran en ningún otro lugar.
- 2. Alimentación:** El ecosistema intermareal es una fuente importante de alimento para muchos animales, incluyendo aves, peces y otros organismos marinos.
- 3. Ciclos de nutrientes:** Los sedimentos de la zona intermareal contienen una gran cantidad de nutrientes que son esenciales para el crecimiento de las plantas y los animales. Los procesos de descomposición y reciclaje de nutrientes en la zona intermareal son cruciales para mantener la productividad del ecosistema costero.
- 4. Protección de la costa:** Las plantas y los animales que habitan en el ecosistema intermareal ayudan a proteger la costa contra la erosión y las tormentas, ya que sus raíces y hábitos de alimentación contribuyen a la estabilidad de la tierra y la absorción de agua.

5. Investigación científica: El ecosistema intermareal es un área de gran interés para los científicos y los investigadores, puesto que es un lugar único para estudiar cómo los organismos marinos interactúan entre sí y con su entorno.
6. Recreación: Las personas también pueden disfrutar del ecosistema intermareal mediante actividades recreativas como la observación de aves, la pesca y el senderismo.

LA MAREA, EL OLEAJE Y LA ZONACIÓN: ARQUITECTOS DE LA ZONA INTERMAREAL

A lo que llamamos “marea” es el ascenso y descenso periódico del nivel del mar en nuestras costas. Este ciclo incesante afecta no solo a los océanos, sino también a los ecosistemas costeros y a la vida que habita en ellos. Imaginen las costas rocosas, donde las poderosas olas del mar chocan constantemente contra las rocas. Estas playas son como un lienzo natural esculpido por la fuerza del tiempo y la marea. Desde pequeñas gravillas hasta grandes piedras rodadas, las rocas aquí varían en tamaño y forma, y esta diversidad es el resultado del constante embate de las olas. Este fenómeno, llamado zonación, es clave en el mundo de la ecología costera. Las especies que habitan en estas áreas son moldeadas por la intensidad y duración de la exposición al oleaje. La zonación se manifiesta en dos dimensiones: horizontal y vertical (McNeill, 2010).

Horizontalmente, si caminamos a lo largo de la costa durante la marea baja, notaremos parches distintos de vida marina y vegetación. En ambos sentidos, paralelo y perpendicular a la línea de la costa, veremos diferencias notables en la distribución de seres vivos, nivel: inferior, medio y superior) (Fig. 2)

Sin embargo, este asombroso fenómeno no es tan evidente en todos los ecosistemas intermareales. Para observarlo en su máxima expresión, debemos sumergirnos en el mundo de las playas rocosas, donde la zonación se presenta de manera más prominente. Pero no se limita solo a estas costas; podemos encontrar indicios de zonación en otros tipos de intermareal si prestamos suficiente atención (Fig. 6)

Así que, la próxima vez que visiten la costa, miren más allá de las olas y las rocas. Observen a la vida marina que revela el asombroso fenómeno de la zonación en la naturaleza.

ADAPTACIONES EN UN ECOSISTEMA CAMBIANTE

Los animales y plantas en todos los ecosistemas han desarrollado una variedad de características que les permiten sobrevivir en su entorno particular (Molles, 2016). Por ejemplo, algunos han desarrollado una mayor cantidad de grasa y músculo para resistir ambientes fríos (Allen, 1877). Sin embargo, en el ecosistema intermareal, donde las condiciones cambian constantemente, tanto los animales como las plantas requieren adaptaciones específicas para su supervivencia. Estas adaptaciones se pueden categorizar en seis tipos principales: físicas,

defensas químicas, de comportamiento, reproductivas, mutualistas y fisiológicas.

- A. Adaptaciones físicas: Este tipo de adaptaciones se refiere a las características del cuerpo o la construcción de estructuras que permiten a los organismos enfrentar los desafíos físicos de su hábitat, como la fuerza del oleaje o la desecación (Peterson, 1991). Ejemplos de estas adaptaciones incluyen a las numerosas espinas del erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) (Fig. 3I), las cuales cumplen un papel de protección tanto hacia depredadores como a traumas físicos del ambiente, pues al momento en el que una espina del erizo se rompe, esta absorbe cierta fuerza para suavizar el impacto hacia el cuerpo esférico (Strathmann, 1981). De manera parecida, las algas coralinas (*Corallina officinalis*) (Fig. 3C) cuentan con cuerpos calcificados duros que les otorgan resistencia y partes plásticas que les brindan elasticidad, ambas funcionando como un conjunto para evitar que la fuerza de olas las desprenda de las rocas en las que crecen (Graham et al., 2016; Denny y Rey, 2016).
- B. Adaptaciones de defensa química: En este tipo de adaptaciones, los seres vivos pueden emplear diversas sustancias químicas para evadir a sus depredadores o para cazar presas (Pawlik, 1993). Algunos ejemplos notables incluyen las anémonas fluorescentes (*Anthopleura xanthogrammica*) (Fig. 3M), que disponen de células especiales capaces de inyectar veneno en sus presas, permitiéndoles atraparlas y consumirlas (Pechenik, 2015). Por otro lado, los gusanos anillados de fuego (*Amphinomidae*: género *Eurythoe*) (Fig. 3N) producen toxinas tanto para protegerse de depredadores como para liberar espinas alrededor de su cuerpo, aumentando su defensa (Verdes et al, 2018). Además, los pulpos (*Octopus bimaculatus*) (Fig. 3J) han desarrollado la capacidad de expulsar chorros de tinta viscosa, una ingeniosa estrategia para confundir a sus depredadores y ganar el tiempo necesario para escapar y esconderse (Derby, 2014).
- C. Adaptaciones de comportamiento etológico: Estas adaptaciones se refieren a los comportamientos que los organismos exhiben en relación con su ambiente y otros individuos, ya sean de su misma especie o diferentes, y pueden ser tanto positivos como negativos (Quesada et al., 2014). Por ejemplo, las estrellas ocre (*Pisaster ochraceus*) (Fig. 3E), que habitan en áreas de aguas poco profundas y expuestas a una mayor radiación solar, han desarrollado una estrategia inteligente. Cuando desean evitar daños graves, se trasladan hacia regiones sombreadas, buscando refugio debajo de rocas o láminas de algas (Burnaford y Vasquez, 2008). Por otro lado, las colonias de anémonas clonales (*Anthopleura elegantissima*) (Fig. 1) muestran un comportamiento agresivo cuando entran en contacto con una colonia diferente. Esto da inicio a una especie de “guerra lenta” entre ambas colonias, que se manifiesta como un espacio vacío

- entre ellas donde ninguna puede crecer debido a la presencia de la otra (Ayre y Grosberg, 2005).
- D. Estrategias Reproductivas: Estas estrategias son utilizadas tanto por animales como por plantas para generar descendencia (Wangensteen *et al.*, 2017). Un ejemplo de esto es el cerdo de mar (género *Aplidium*) (Fig. 3Ñ), un organismo colonial con la capacidad de reproducirse de manera asexual, lo que significa que no requiere de otro individuo para engendrar descendencia. Esta reproducción asexual se logra a través de la división de un individuo en dos, resultando en dos nuevos individuos idénticos entre sí, con algunas pequeñas variaciones dependiendo de las condiciones ambientales (Nakauchi, 1982). Los pastos marinos (género *Phyllospadix*) (Fig. 3A) liberan su polen en el agua, aprovechando el movimiento de la marea y el oleaje para dispersarlo y así polinizar a otros pastos, dando lugar a la generación de nuevas semillas (Cox *et al.*, 1992). Por otro lado, los percebes (*Pollicipes polymerus*) (Fig. 3F) son hermafroditas, es decir, poseen órganos reproductivos tanto masculinos como femeninos. Esta característica es ventajosa debido a que, al ser organismos sésiles que no pueden desplazarse, maximizan sus posibilidades de tener descendencia al poder reproducirse con cualquier otro percebe cercano (Yusa *et al.*, 2012). Además, los percebes cuentan con un pene especialmente largo en proporción a su cuerpo, lo que les permite alcanzar a otros percebes vecinos (Plough *et al.*, 2014). Estas adaptaciones, combinadas con el hermafroditismo y su incapacidad para moverse, resultan esenciales para maximizar su supervivencia.
- E. Adaptaciones Mutualistas: A través de la evolución y la adaptación, algunas especies han desarrollado relaciones de cooperación mutua para aumentar sus posibilidades de supervivencia (Bedgood *et al.*, 2020). Por ejemplo, animales como las medusas velero (*Veleva veleva*) y las anémonas (por ejemplo, el género *Anthopleura*) albergan microalgas en sus células, lo que les otorga su característico y llamativo color (Fig. 3L, M). Estas algas proporcionan glucosa, mientras que las anémonas y medusas velero ofrecen un entorno protegido para que las algas puedan sobrevivir (dentro de sus tejidos) (Suggett *et al.*, 2012; Trench, 1988).
- F. Adaptaciones Fisiológicas: Este último tipo de adaptaciones a menudo resulta el más difícil de determinar, ya que involucra cambios en el metabolismo de los organismos para hacer frente a condiciones ambientales cambiantes, como las variaciones en la salinidad, temperatura y niveles de oxígeno (Schubert *et al.*, 2017). Por ejemplo, los cangrejos costeros rayados (*Pachygrapsus crassipes*) (Fig. 3K) tienen la capacidad de ajustar su metabolismo para mantener un equilibrio adecuado de sal en sus cuerpos, lo que evita daños celulares y les permite sobrevivir en entornos con niveles de salinidad inusualmente altos o bajos (Jones, 1941).

En el caso de algunos gusanos cacahuete (clase Sipuncula) (Fig. 5D), enfrentan desafíos relacionados con la baja concentración de oxígeno en su entorno, como en el lodo de los manglares. Estos organismos han desarrollado mecanismos que les permiten sobrevivir durante largos períodos en condiciones de estrés, produciendo ciertas sustancias que respaldan el funcionamiento de sus órganos a pesar de la escasez de oxígeno (Teo *et al.*, 2000).

INTERMAREAL ROCOSO

Las playas rocosas son una zona visualmente dominada por el impacto de las olas sobre las rocas, brindando un espectáculo de agua y espuma saltando en todas direcciones. Están construidas a partir de un conjunto de rocas que pueden variar desde el tamaño de una pelota de golf hasta murallas que alcanzan varios metros de altura. Sin embargo, el intermareal rocoso se encuentra localizado únicamente en la parte en la que la marea alta cubre totalmente la playa con agua marina y donde la marea baja la deja al descubierto del aire, al igual que el resto de zonas intermareales (Smith y Smith, 2007). Cuando la marea baja, salen al descubierto algunas formaciones rocosas que funcionan como charcas o pozas en las que se almacena el agua presente durante la marea alta (Molles, 2016). Dentro de estas pozas se presentan condiciones notablemente diferentes a las que se encuentran las rocas totalmente expuestas al aire y las que tiene el mar abierto, funcionando como un hábitat único a pequeña escala (Smith y Smith, 2007). La gran cantidad de sitios disponibles y sometidos bajo a distintas condiciones ambientales es lo que permite que una gran variedad de animales y plantas puedan vivir en los espacios por encima, debajo y entre las rocas del intermareal, los cuales han evolucionado con diferentes formas de sobrevivir a las condiciones cambiantes de este ecosistema (Fig. 1).

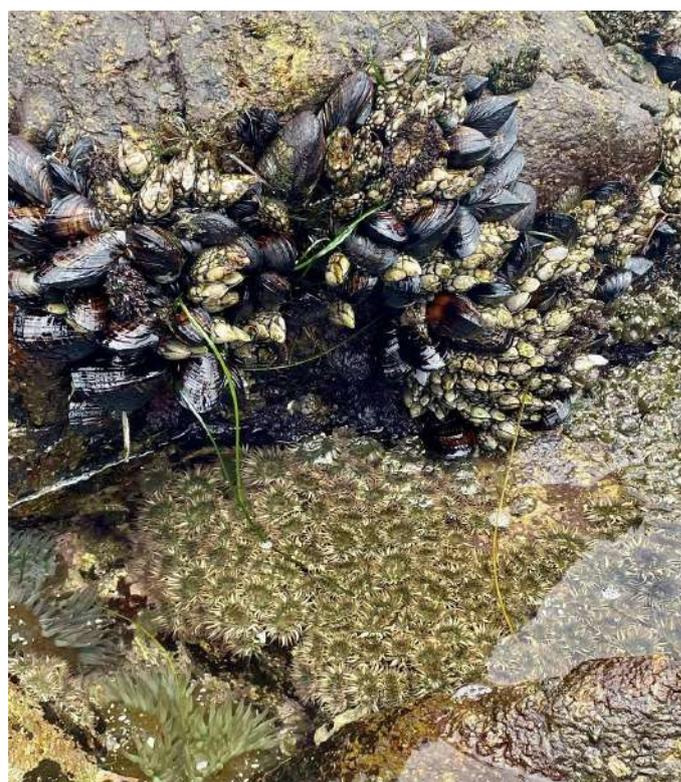


Figura 1. Paisaje típico de una poza de marea en las costas de California durante la marea baja.

CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL INTERMAREAL ROCOSO

En los ecosistemas intermareales, cuando la marea es alta y la mayor parte del intermareal está cubierta por agua, la vida que se establece ahí se encuentra bajo condiciones totalmente marinas. Sin embargo, en los momentos en los que la marea es baja, tanto las rocas como los animales y plantas quedan al descubierto del aire, lo que significa un cambio brusco en todas las características del ambiente. De forma general existen tres grandes retos que enfrentan los animales y plantas en el intermareal rocoso.

El primer gran reto al que se enfrentan los habitantes del intermareal rocoso es la falta de humedad (deseccación). Una vez la marea deja descubierta la zona intermareal, el agua de la superficie rápidamente se comienza a evaporar gracias a la exposición a la luz y la temperatura. Los altos niveles de luz pueden ocasionar desde un mínimo daño, como quemaduras solares a las que sufre el ser humano cuando visitamos la playa, o incluso alcanzar el extremo de provocar la muerte por insolación en los animales y plantas (Molles, 2016). Por otro lado, la temperatura en zonas tropicales, el agua de las pozas se puede calentar por encima de la temperatura del mar. Mientras que en regiones más templadas el ambiente terrestre alcanza temperaturas inferiores que las que tiene el agua del mar (Miller y Spoolman, 2009; Smith y Smith, 2007).

El segundo reto es la salinidad, las pozas de marea al estar expuestas al sol llegan a perder agua en forma de vapor, lo que ocasiona que las cantidades de sal en las pozas aumente por encima de normal, este suceso suele ser fatal para los animales y plantas que no sean resistentes al cambio. De igual forma pueden verse atrapadas en un fenómeno contrario, ya que pueden recibir agua que no proviene del mar, como lo puede

ser agua de la desembocadura de un río o directamente de la lluvia, lo que disminuye la concentración de sal en las pozas (Molles, 2016).

Por último, el tercer reto es la fuerza ejercida por la acción de las olas, este factor es importante, puesto que restringe y/o favorece a los habitantes del intermareal rocoso. Smith y Smith (2007) enlistan varios tipos de efectos que tienen las olas sobre este ambiente, algunos de ellos como: la acumulación de alimento (nutrientes y microalgas) hacia la costa, favoreciendo a las algas y animales filtradores, el movimiento constante de las algas marinas evita que den sombra por tiempos prolongados, aumentando la diversidad de algas que la habitan, además la fuerza de impacto de las olas favorece el arrastre de los habitantes del intermareal, reduciendo la depredación de ciertos animales y aumentando la disponibilidad de espacios vacíos, lo que permite que sean habitados por otras algas o animales.

FLORA Y FAUNA DEL INTERMAREAL ROCOSO

Los animales y plantas (como algas) están adaptados para soportar cambios bruscos del intermareal rocoso, principalmente a los dos de los tres grandes retos en el intermareal: desecación y oleaje. Uno de los efectos vistos debido a la dinámica de la marea (oleaje) es una distribución particular de los animales y algas en sitios específicos del ambiente (Fig. 2). En California los caracoles de mar (Fig. 3H), lapas, algas rojas (Fig. 3C) y verdes (Fig. 3B) son habitantes del intermareal superior, el intermareal medio se encontrará dominado por percebes pequeños (Fig. 3F), mientras que en la inferior mejillones (Fig. 3F), algas pardas (Fig. 3D), percebes grandes y gasterópodos (Fig. 3G). Por último, el intermareal inferior presenta algas pardas en forma de lámina (laminarias) o pastos marinos (Fig. 3A) (Southward, 1958; Miller y Spoolman, 2009).

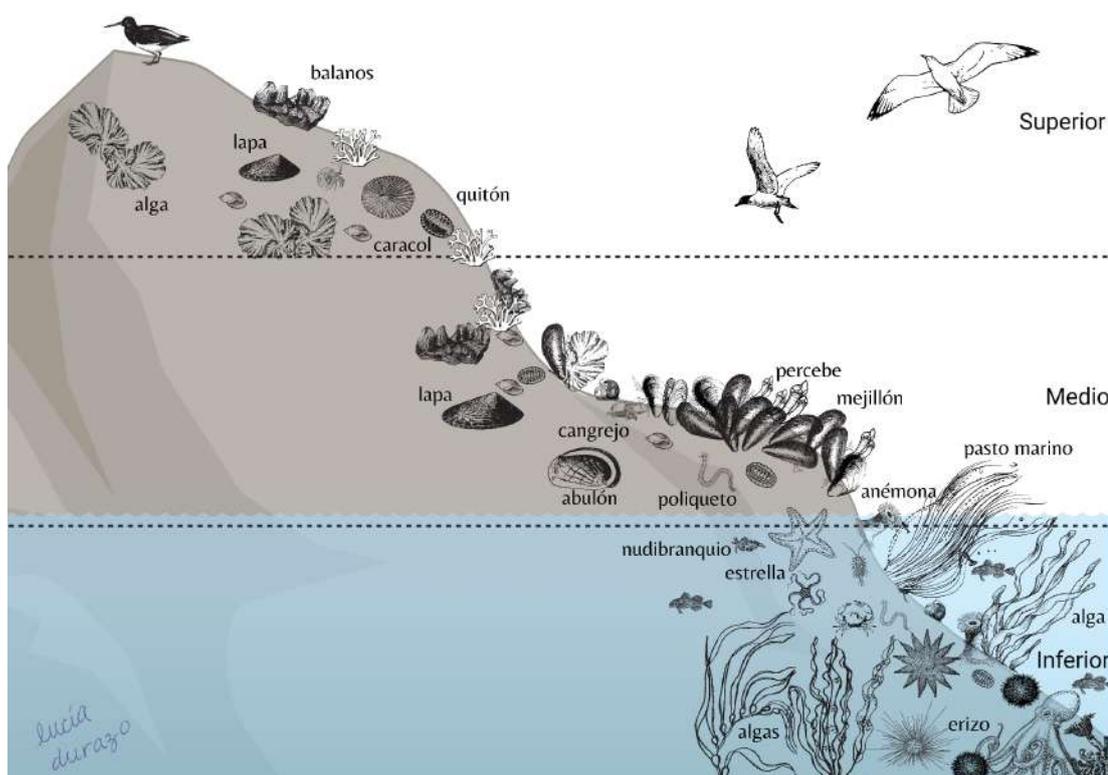


Figura 2. Distribución espacial de la flora y fauna en un intermareal rocoso. Adaptado de "Mountain 2", por BioRender.com (2023).

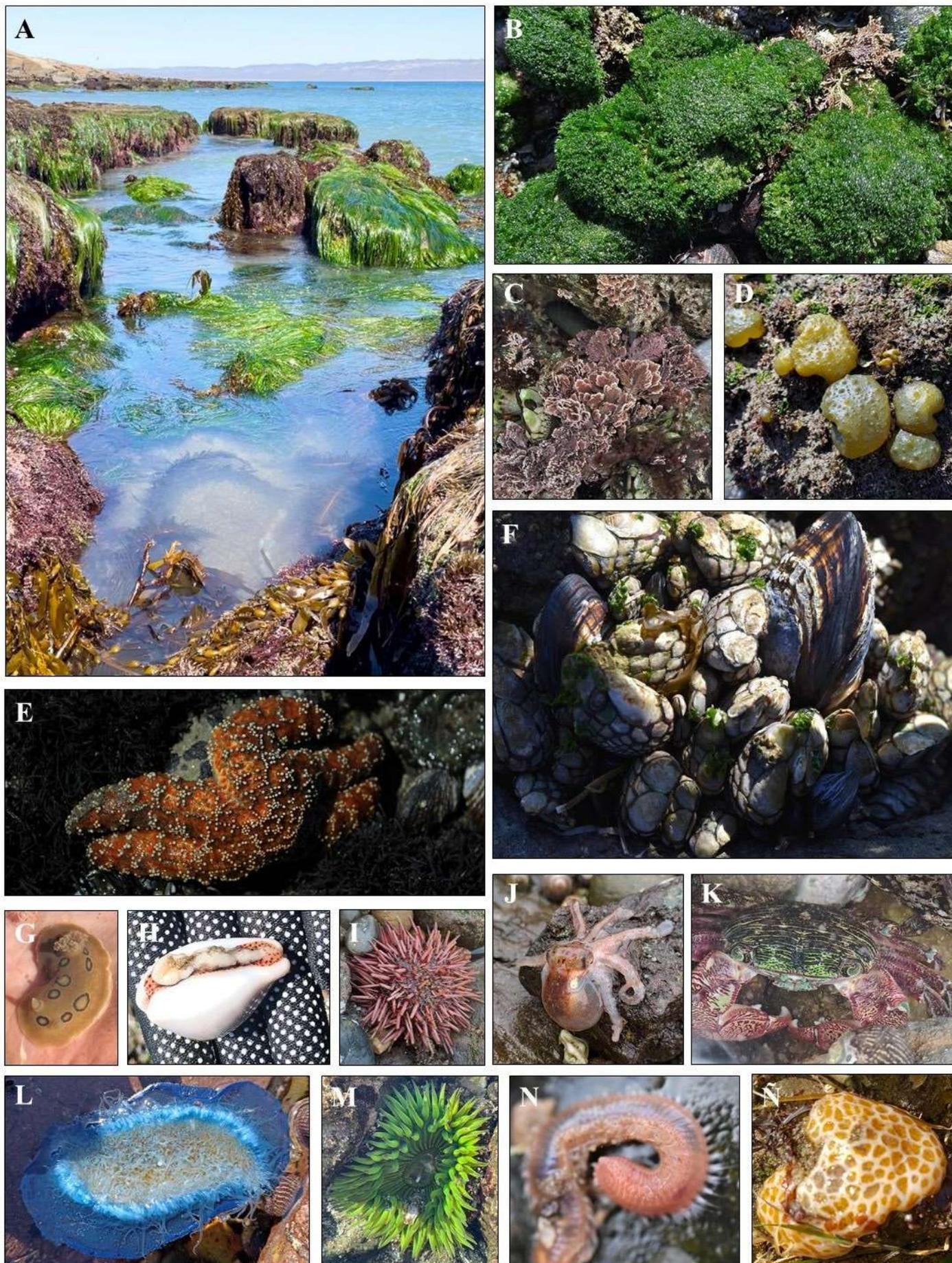


Figura 3. Diferentes algas y animales del intermareal. (A) Diferentes algas pardas, rojas y un pasto marino. (B) Alga verde en tapete (clorófitas). (C) Alga roja calcárea (rodofitas). (D) Alga parda globular (feofíceas). (E) Estrella de mar (asteroideos). (F) Percebes (cirripedos) y mejillones (gasterópodos). (G) Babosa de mar (gasterópodo). (H) Caracol marino (gasterópodo). (I) Erizo de mar (equinoideos). (J) Pulpo (cefalópodo). (K) Cangrejo de costa (decapodo). (L) "Médula" (cnidario) (M) Anémona (cnidario). (N) gusanos anillados (poliquetos). (Ñ) Chorro de mar (ascidia).

Para afrontar los grandes retos del intermareal rocoso, los animales y algas marinas han desarrollado distintas estrategias. Para evitar la desecación, los animales optan por moverse a sitios donde haya pozas de marea o sitios con menor temperatura, como las lapas y caracoles de mar (Fig. 3H).

Para soportar el movimiento de la marea los animales forman un “pegamento” hecho de grasas y proteínas o secretan moco para unirse a las rocas, por ejemplo los percebes y balanos (Fig. 3F) (Gohad *et al.*, 2014; Smith, 2002). Otros animales que tienen estrategias similares son los mejillones, que forman filamentos parecidos a cabellos para pegarse en las rocas, y al mismo tiempo unirse con otros individuos de su misma especie (McCartney, 2021). La estrategia de formar un pegamento también la poseen las algas, lo que les ayuda a mantenerse fijas a las rocas. Aunque de forma general, las algas para soportar el oleaje presentan en su cuerpo una serie de formas que les permite aguantar el golpeteo de las olas, como costra, arbusto (Fig. 3B) o corteza, y materiales que las vuelven extremadamente elásticas, flexibles y resistentes (Graham *et al.*, 2016).

Sobrevivir a las inclemencias del intermareal va más allá de solo contar con un cuerpo resistente a la agresividad del ambiente, si no que también se necesita contar con la colaboración de otros organismos vecinos, que en conjunto aumenten las posibilidades de sobrevivir. Existen diferentes tipos de interacciones, principalmente hay dos tipos: negativas y positivas. Las negativas consisten en donde al menos uno de los involucrados se perjudica, un ejemplo es el caso de la depredación, como las anémonas (Fig. 3M) al alimentarse de cualquier animal que se encuentre cerca (Quesada *et al.*, 2014), otro caso es de las babosas de mar que consumen algas rojas y verdes (Fig. 3B y 3C) (Winkler y Dawson, 1963). En cambio, las relaciones positivas consisten en generar un ambiente en el que ambos organismos se encuentren beneficiados sin afectar negativamente al otro, como el uso de conchas de caracoles por los cangrejos ermitaños para tener su característica caracola (Vázquez Aguilar, 2019) o los nutrientes que pueden aportar los desechos de los animales y que funcionan como un fertilizante para las algas (Graham *et al.*, 2016). En resumen, existen interacciones dinámicas entre los animales y algas del intermareal, estas interacciones han sido estudiadas por los científicos, en especial de depredadores que controlan a los herbívoros y que tienen un papel importante en el ecosistema, es decir, especies claves, un ejemplo son las estrellas de mar (Fig. 3E), que regulan las poblaciones de erizos y mejillones al consumirlos (Fig. 3I) (Power *et al.*, 1996; Paine, 1974).

Otros animales que también se pueden encontrar durante las mañanas y tardes en los alrededores o dentro del intermareal son aves playeras que se alimentan de los cangrejos, caracoles y gusanos marinos (Fig. 3K, 3H y 3N) (Recher, 1966). Además, otros visitantes de las pozas de marea igual de importantes que los antes mencionados, son peces, como charrascos, sargaceros, rocotes, chupapiedras, chafarrocas y gobios (Yoshiyama, Sassaman y Lea, 1986; Ruiz-Campos y Hamman, 1987). Hay casos excepcionales donde

podemos encontrar animales que normalmente no veríamos en el intermareal, como es el caso de las medusas (Fig. 3L) que llegan a la costa durante los fenómenos naturales conocidos como “El Niño” (Araya y Aliaga, 2018).

INTERMAREAL ESTUARINO

Los estuarios son zonas costeras parcialmente aisladas del mar que son definidas estrictamente por la mezcla de agua dulce con el agua salada del mar. Estas zonas se caracterizan por tener barreras naturales, como barras de arena, lo que impide la entrada de las olas al interior del estuario. A medida que los ríos llegan al mar, estos erosionan las rocas y el terreno, por lo que los estuarios presentan abundancia de lodos y arenas, lo que permite que sean zonas donde animales adaptados a alimentarse y habitar en lodos y arcillas proliferen.

Al igual que con otras zonas costeras de transición, los estuarios son zonas dinámicas y son dominadas por fenómenos físicos como las mareas, el oleaje y el flujo de agua salada. Esta última variable influye drásticamente en las condiciones ambientales que los organismos residentes tienen que soportar.

CARACTERÍSTICAS DE LOS AMBIENTES ESTUARINOS

En los estuarios, la cantidad de sal suele ser la característica más importante a la hora de definir a los estuarios (Kinne, 1966). La presencia (o ausencia) del flujo de agua dulce influye drásticamente en los niveles de salinidad del medio acuático. Esta puede venir de ríos o arroyos (en el último caso, es durante la época de lluvias que los estuarios reciben abundante agua dulce). La mezcla del agua dulce con la salada crea un tipo de agua denominada “salobre”, la cual presenta niveles de salinidad distintos a aquellos encontrados en el agua dulce o salada. Adicionalmente, el calor del sol, la profundidad y el movimiento del agua dentro de la laguna estuarina son variables ambientales que influyen de manera importante en los niveles de salinidad.

Por ejemplo, en zonas donde hay alta incidencia solar y el estuario tiene una baja profundidad, las temperaturas serán elevadas y la evaporación será alta, aumentando la concentración de sales (ver Acosta-Ruiz y Alvarez-Borrego, 1974 como ejemplo). De manera similar, la presencia de flujos de agua modifica las concentraciones de oxígeno, temperatura y turbidez del medio.

Molles (2016) menciona que el movimiento de la marea es el *corazón de los procesos ecológicos* de los estuarios. El arribo de mareas causa que lodos y arenas finas sean suspendidas, causando que el agua se vuelva turbia; también permite que oxígeno y nutrientes entren de nuevo al sistema. Más aún, el movimiento de las mareas permite que la materia vegetal residual sea transportada fuera del sistema.

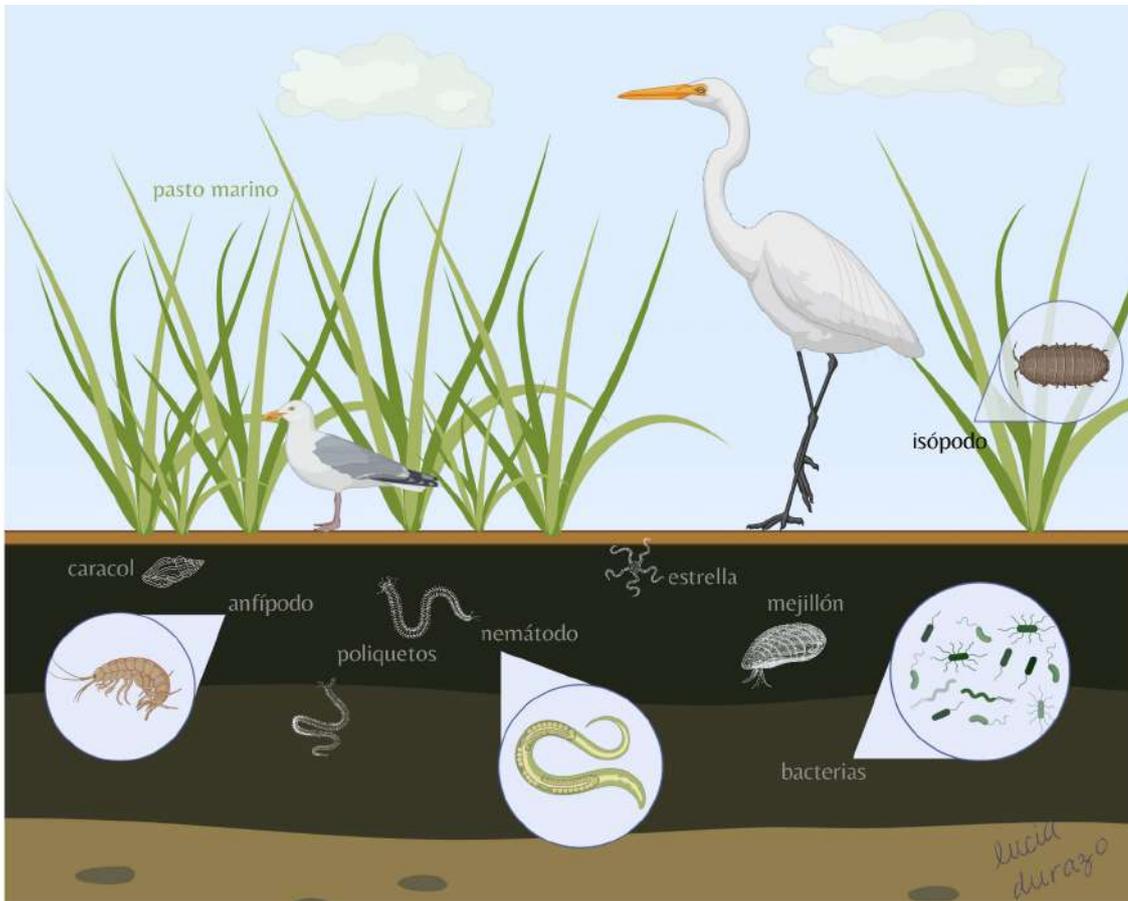


Figura 4. Distribución espacial de los organismos en un estuario en marea baja. Debajo de la superficie pueden habitar algunos caracoles, anfípodos, poliquetos, estrellas de mar y mejillones. En gran abundancia, las bacterias están presentes en los sedimentos de los estuarios e influyen drásticamente en la ecología del sistema. En la superficie se encuentra vegetación y aves marinas. Adaptado de "Soil profile (grassland)", por BioRender.com (2023).

Los niveles de oxígeno en el agua de los estuarios fluctúan durante el día e influyen bastante en la supervivencia y presencia de flora y fauna. Debido a que estos ambientes tienen materia vegetal en descomposición, microorganismos que la consumen influyen en que los niveles de oxígeno bajen y animales más grandes no sobrevivan. De manera opuesta, y especialmente durante el día, la actividad fotosintética causa que estos ambientes presenten altos niveles de oxígeno (Molles, 2016).

FLORA Y FAUNA EN LOS ESTUARIOS

Es importante recordar que para comprender a un animal o planta, es esencial analizar dónde vive y cuáles son las condiciones ambientales a las que se ha tenido que adaptar. En el caso del intermareal estuarino, es posible obtener una idea de las complejas adaptaciones que deben tener animales y plantas residentes para sobrevivir en estos ambientes dinámicos. Los organismos que habitan en los estuarios deben tener la capacidad de (1) soportar las condiciones presentes o (2) de alejarse de aquellas zonas poco óptimas para su supervivencia (Fig. 4). Es por ello que algunas especies han evolucionado para habitar toda su vida en las aguas estuarinas, mientras que otras sólo habitan en estos ambientes durante ciertas temporadas o etapas de su vida.

Animales que no tienen la capacidad de migrar como caracoles, gusanos marinos, almejas, crustáceos, algunos peces, estrellas de mar o anémonas han desarrollado adaptaciones para soportar los cambios de salinidad,

temperatura y niveles de oxígeno. Una gran cantidad de los animales residentes son capaces de regular sus niveles internos de sal o soportar los niveles de sal externos para sobrevivir en estos ambientes (Hill *et al.*, 2016).

A pesar de todo el conjunto de factores ambientales que los animales deben de estar adaptados para sobrevivir en estos ecosistemas, los estuarios presentan alta diversidad tanto de vertebrados como de invertebrados. Una gran cantidad de los invertebrados estuarinos son capaces de enterrarse y crear madrigueras. Dentro de los invertebrados es posible encontrar gusanos marinos (Fig. 5B, 5C, 5D y 5G), almejas, anémonas, pequeños crustáceos (Fig. 5E y 5F) y caracoles (Fig. 5H).

Estas zonas funcionan como sitios de refugio y alimentación de crías de peces y aves (tanto nativas como migratorias). En peces, debido a que los estuarios son zonas protegidas del oleaje y de depredadores, las crías de peces se pueden alimentar y crecer (Mendoza-Carranza y Rosales-Casian, 2002). Tanto aves migratorias como residentes se benefician de los estuarios por ser zonas de alimentación (Kwak y Zedler, 1997). Adicionalmente, especies migratorias requieren los estuarios como zona de descanso y de recuperación de energía para continuar su viaje (Brusca *et al.*, 2006).

Las plantas que viven en los ambientes estuarinos (Fig. 5A) deben tener las adaptaciones requeridas para sobrevivir en ambientes con altos niveles de sal (tanto en el agua como en el suelo). Es por ello que algunas plantas tienen la capacidad de secretar el exceso de sales a través de sus hojas o almacenarla en compartimientos especiales (Ustin, 1984).



Figura 5. Diferentes tipos de animales y plantas encontrados en estuarios. (A) Plantas estuarinas. (B y C) Gusanos marinos (poliquetos). (D) Gusano marino (sipuncúlido). (E y F) Crustáceos (anfípodos). (G) Gusano (nemátodo). (H) Caracol marino sin concha (gasterópodo). (I) ambiente estuarino de San Quintín, Baja California.

INTERMAREAL LODOSO

El intermareal de lodos y arena es el tipo más común de zona intermareal a lo largo del planeta. A primera vista, puede parecer una llanura desierta junto al mar, pero detrás de esa apariencia hay una gran cantidad de sucesos y procesos en marcha. La mayoría de la fauna se encuentra oculta bajo la gruesa arena y el agua cercana a la costa, mientras que la flora se limita al borde del mar, interactuando con los ecosistemas terrestres. Aunque este paisaje aparentemente desolado, en realidad alberga una diversidad de procesos que son de gran importancia para las aves, peces y otras plantas y animales que se han adaptado a vivir en este entorno. Las arenas y los lodos de esta zona tienen una gran cantidad de materia orgánica, esto crea un ambiente fangoso y blando que sumado a la interacción del oleaje y las mareas forman una alternancia entre estar cubierto y quedar expuesto al aire (Brenchley y Carlton, 1983). Aunque puede parecer un ambiente inhóspito, el intermareal lodoso desempeña un papel fundamental en los ecosistemas costeros. Los organismos que viven aquí contribuyen a los ciclos de nutrientes, actúan como alimento para otras especies y desempeñan funciones

importantes en la cadena alimentaria (Raffaelli y Hawkins, 1995).

CARACTERÍSTICAS DE LOS AMBIENTES ARENOSOS-LODOSOS

La característica más importante de estos ambientes es el tamaño de grano o tamaño de partícula, el tamaño que los granos de los lodos y arenas tengan va a ser la pauta de los diferentes microambientes para los organismos que viven en el intermareal. Los lodos más finos, como el limo o el fango, retienen más agua y pueden albergar una mayor diversidad de organismos, incluyendo pequeños invertebrados y larvas. Por otro lado, las arenas más gruesas, permiten una mejor circulación del agua y pueden ser el hábitat preferido por ciertas especies de invertebrados y peces (Anderson, 2008, Araujo-Leyva *et al.*, 2020). Por otro lado, el tamaño de grano también puede influir en la composición de la comunidad de organismos en el intermareal. Algunas especies tienen preferencias específicas en cuanto al tipo de lodo en el que se establecen. Por ejemplo,

ciertos gusanos poliquetos pueden encontrarse en sustratos arenosos, mientras que otros prefieren los sustratos fangosos (Gray y Elliott, 2009). Por lo tanto, el tamaño de grano puede determinar qué especies dominarán en un determinado lugar. Aunque existen otras características importantes como la cantidad de sal y oxígeno, el tamaño de grano en el intermareal es la característica con un mayor impacto significativo en la estructura de la comunidad, la disponibilidad de alimento y los procesos físicos que dan forma a este hábitat. Es importante comprender y estudiar el tamaño del grano para comprender mejor la ecología y el funcionamiento de los ecosistemas intermareales (Woodin, 1974).

FLORA Y FAUNA

Las plantas y animales son casi invisibles en este ecosistema y si bien se mencionó que el intermareal de lodos y arenas suele verse como una planicie desértica, algunas veces podemos un poco de fauna cuando la marea está baja y deja al descubierto algunos animales como: almejas, cangrejos, estrellas de mar y algunos gusanos poliquetos (Fig. 6). Sin embargo, la mayoría de los animales se encuentra ocultos bajo los lodos, estos habitan los primeros 30 cm de profundidad y la mayoría son de tamaño microscópico. Sus formas, órganos y adaptaciones evolutivas les han permitido poblar adecuadamente los espacios que se forman entre los granos de arena y aunque pareciera un cuento, constituyen casi todo el alimento costero de las cadenas alimenticias, es decir, muchos crustáceos, peces y aves migratorias dependen totalmente de estos ecosistemas diminutos estén en perfecto equilibrio. En el caso de la vegetación, la mayoría de las plantas ahí pertenecen a algas marinas que se pegan en las orillas de las playas y una mezcla entre las plantas de especies

mencionadas en estuarios y el intermareal rocoso, aunque en algunas regiones tropicales podemos encontrar bosques de manglar y en regiones un poco más frías, pastizales de zosteria o de espartina ambos pastos marinos, aunque la mayoría de esta vegetación está asociada preferentemente a los intermareales estuarinos (Fig. 5l).

DISCUSIÓN

LA IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS INTERMAREALES

Mucha de la importancia ecológica de estas áreas se ha mencionado a lo largo de este artículo, sin embargo, vale la pena enfatizar que el intermareal es un área en donde ocurren muchos procesos al mismo tiempo, la gran mayoría de los animales y plantas son sensibles y tolerantes a gran variedad de contaminantes y variables, ahí es donde entramos nosotros como seres humanos, el 70% de las zonas costeras del planeta están habitadas por el ser humano, no obstante no existe un buen manejo de los desechos que constantemente se vierten en el mar; la basura que con ayuda del viento termina llegando a la playa, las descargas de drenaje urbanas y rurales y el mal manejo de las cooperativas pesqueras, son algunas de las actividades que perturban y generan la muerte de muchos animales y plantas de la zona intermareal (Crossland *et al.*, 2005). Por ello es importante redoblar el esfuerzo en el estudio de estos ecosistemas, ya que probablemente muchas especies de animales y plantas están desapareciendo producto del estrés y del cambio climático. Además, una zona tan dinámica es difícil de estudiar incluso para los científicos más experimentados en el área, por ende, la sociedad tiene un rol importante en la conservación de estos sitios, ayúdanos a conservar los ecosistemas del intermareal.

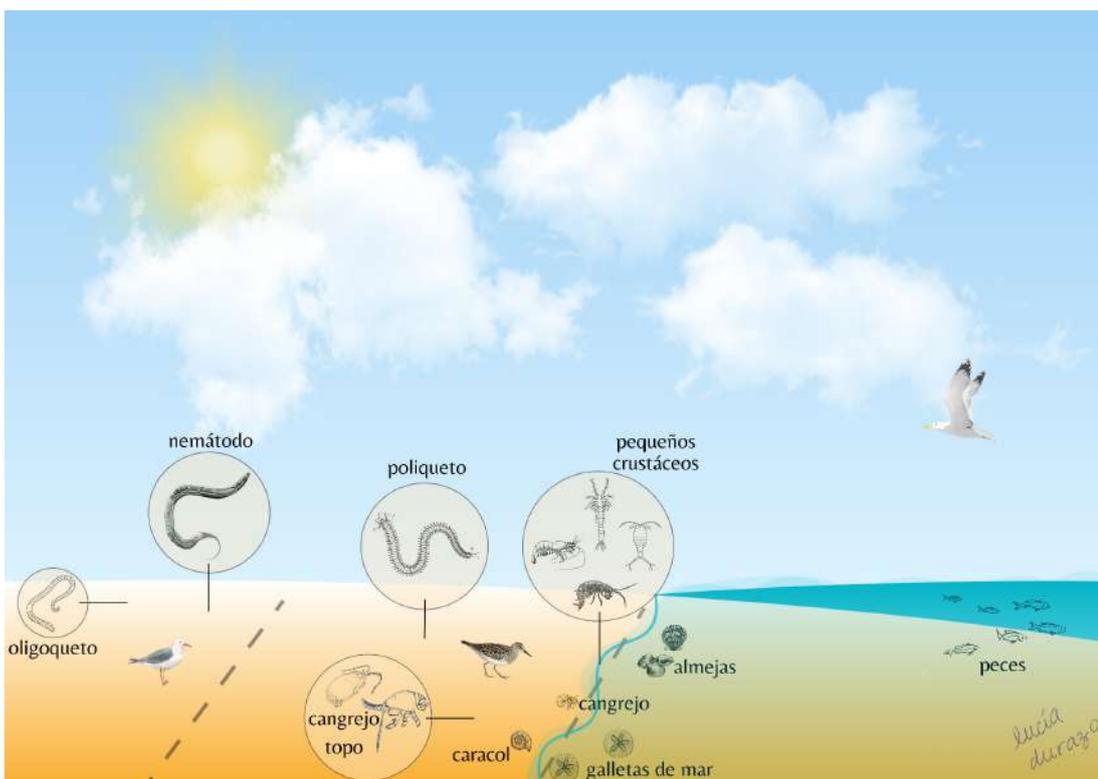


Figura 6. Estructura típica y distribución de los animales de un intermareal lodoso-arenoso Adaptado de "Virtual Background - Flamingo", por BioRender.com (2023).

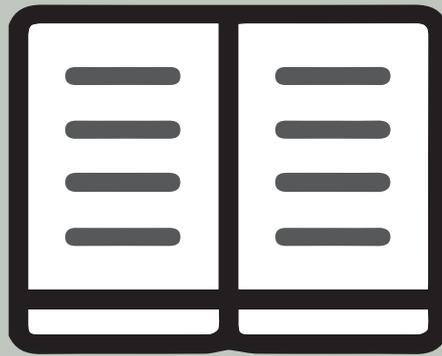


CONCLUSIÓN

El ecosistema intermareal desempeña un papel crucial en la salud y el equilibrio del planeta. Su importancia radica en su función como zona de transición entre los ecosistemas terrestres y marinos, su contribución a la biodiversidad global, su papel en la protección costera, su influencia en la pesca y la acuicultura local, así como su capacidad para purificar el agua y absorber nutrientes. La conservación del intermareal es fundamental para garantizar la supervivencia de muchas especies marinas y preservar su papel crítico en el ecosistema global.

AGRADECIMIENTOS

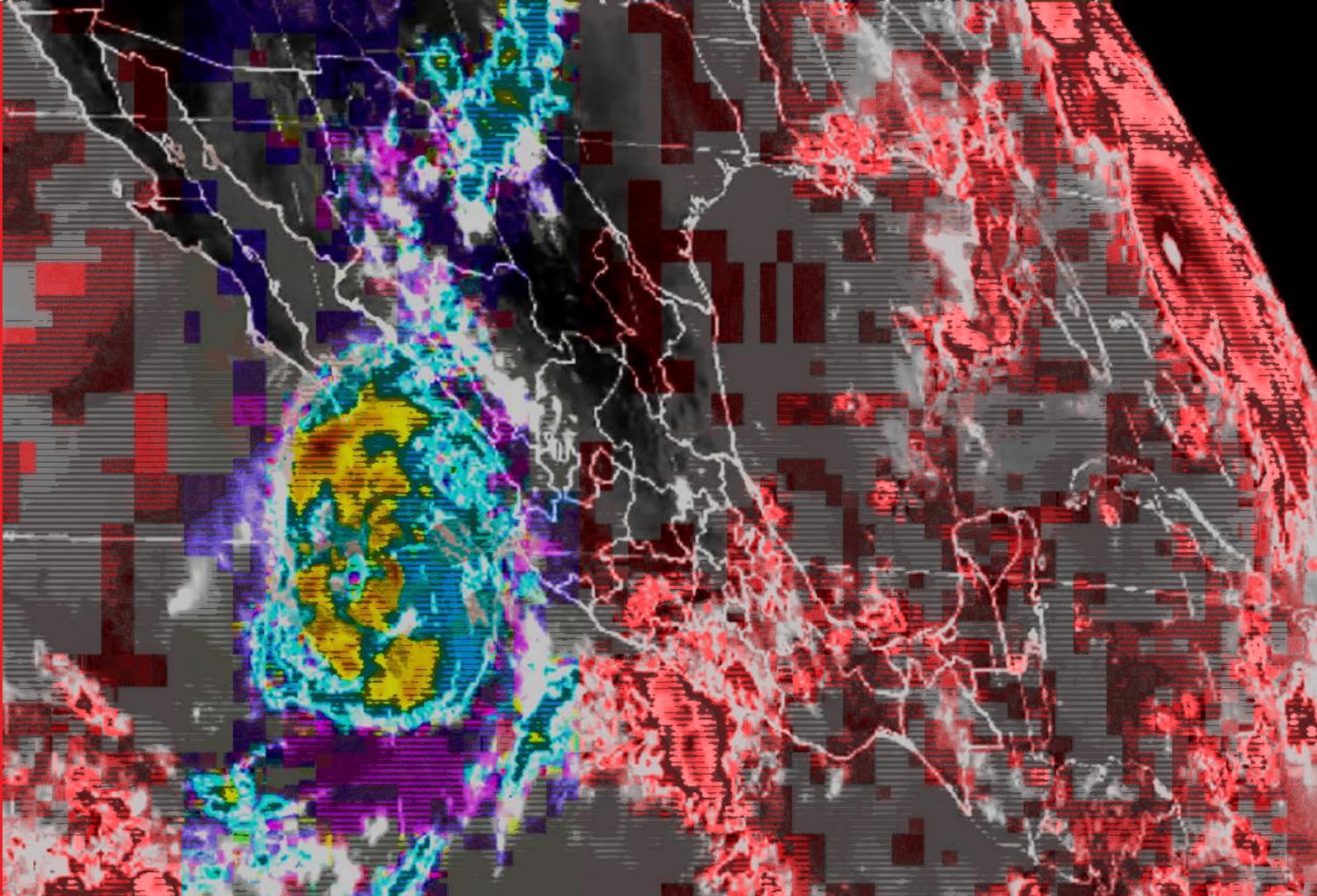
El equipo de alumnos de la “Cueva” quisiéramos agradecer a los alumnos del servicio social asociado a la “Cueva”, así como a los alumnos de la asignatura de ecología intermareal por su esfuerzo en la recopilación del material visual presentado, en especial a Lucía Durazo por el diseño de imágenes digitales de autoría propia. También, un gran agradecimiento al doctor Osmar R. Araujo-Leyva por tener la confianza de incluirnos en este proyecto, por el asesoramiento durante la escritura del artículo, así como por la paciencia y entusiasmo a seguir esforzándonos y por despertar en nosotros ese asombro hacia la ecología tras cada clase y conversación en la que nos atrapaba con su forma tan apasionada de hablar de sus temas de interés. Gracias al grupo MexCal por brindar su apoyo con el equipo utilizado durante las salidas de campo y a la UABC por proporcionar las instalaciones donde desarrollamos gran parte de la organización y gestión del artículo. A CONAHCyT por financiar parte de este proyecto. Finalmente, quisiéramos agradecer a los lectores por leer este artículo elaborado con mucho esfuerzo y pasión.



LITERATURA CITADA

- Acosta-Ruíz, M. y Alvarez-Borrego, S. (1974). Distribución superficial de algunos parámetros hidrológicos físicos y químicos, en el Estero de Punta Banda, B. C., en otoño e invierno. *Ciencias Marinas*, 1(1): pp. 16-45. doi: 10.7773/cm.v1i1.249.
- Allen, J. A. (1877). The influence of physical conditions in the genesis of species. *Radical review*, 1: pp. 108-140.
- Anderson, M. J. (2008). Animal-sediment relationships re-visited: Characterising species' distributions along an environmental gradient using canonical analysis and quantile regression splines. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366(1-2), 16-27.
- Araujo-Leyva, O. R., Rodríguez-Villanueva, L. V., y Macías-Zamora J. V. (2020). Biodiversity of polychaetous annelids in Bahía de Todos Santos, Baja California México. *Zoosymposia*, 19, 51-71.
- Airoidi, L., Cinelli, F., 1997. Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 215, 269e288.
- Araya, J. y Aliaga, J. (2018). El Niño invaders: the occurrence of the by-the-wind sailor *Velella velella* (Linnaeus, 1758) in the southeastern Pacific. *Spixiana*, 14(1): p. 132.
- Ayre, D. J., & Grosberg, R. K. (2005). Behind anemone lines: factors affecting division of labour in the social cnidarian *Anthopleura elegantissima*. *Animal Behaviour*, 70(1), 97-110. doi:10.1016/j.anbehav.2004.08.022
- Bedgood, S. A., Mastroni, S. E. y Bracken, M. E. (2020). Flexibility of nutritional strategies within a mutualism: food availability affects algal symbiont productivity in two congeneric sea anemone species. *Proceedings of the Royal Society B*, 287(1940): pp. 1-10. doi: 10.1098/rspb.2020.1860.
- Brenchley, G. A., & Carlton, J. T. (1983). Competitive displacement of native mud snails by introduced periwinkles in the New England intertidal zone. *The Biological Bulletin*, 165(3), 543-558.
- Brusca, R. C., Cudney-Bueno, R., y Moreno-Báez, M. (2006). Gulf of California esteros and estuaries: analysis, state of knowledge and conservation priority recommendations. Final Report to the David and Lucile Packard Foundation by the Arizona-Sonora Desert Museum.
- Burnaford, J. L., y Vasquez, M. (2008). Solar radiation plays a role in habitat selection by the sea star *Pisaster ochraceus*. *Marine Ecology Progress Series*, 368: pp. 177-187. doi: 10.3354/meps07598,
- Cox, P. A., Tomlinson, P. B., & Nieznanski, K. (1992). Hydrophilous pollination and reproductive morphology in the seagrass *Phyllospadix scouleri* (Zosteraceae). *Plant Systematics and Evolution*, 180(1-2), 65-75. doi:10.1007/bf00940398
- Crossland, C. J., Kremer, H. H., Lindeboom, H., Crossland, J. I. M., y Le Tissier, M. D. (Eds.). (2005). Coastal fluxes in the Anthropocene: the land-ocean interactions in the coastal zone project of the International Geosphere-Biosphere Programme. Springer Science and Business Media.
- Derby, C. (2014). Cephalopod Ink: Production, Chemistry, Functions and Applications. *Marine Drugs*, 12(5), 2700-2730. doi:10.3390/md12052700
- Denny, M. W., & King, F. A. (2016). The extraordinary joint material of an articulated coralline alga. I. Mechanical characterization of a key adaptation. *The Journal of Experimental Biology*, 219(12), 1833-1842. doi:10.1242/jeb.138859
- Gohad, N. V., Aldred, N., Hartshorn, C. M., Jong Lee, Y., Cicerone, M. T., Orihuela, B., ... y Mount, A. S. (2014). Synergistic roles for lipids and proteins in the permanent adhesive of barnacle larvae. *Nature communications*, 5(1): pp. 1-9. doi: 10.1038/ncomms5414.
- Graham, L. E., Graham, J. M., Wilcox, L. W. y Cook, M. E. (2016). *Algae* (3ra ed). LJLM Press.
- Gray, J. S. y Elliott, M. (2009). *Ecology of marine sediments: from science to management*. Oxford university press.
- Hill, R. W., Wyse, G. A. y Anderson, M. (2012). *Animal physiology*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Jones, L. L. (1941). Osmotic regulation in several crabs of the Pacific coast of North America. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 18(1): pp. 79-92. doi: 10.2307/1941214.
- Kinne, O. (1966). Physiological aspects of animal life in estuaries with special reference to salinity. *Netherlands Journal of Sea Research*, 3(2): pp. 222-244. doi:10.1016/0077-7579(66)90013-5.
- Kwak, T. y Zedler, J. (1997) Food web analysis of southern California coastal wetlands using multiple stable isotopes. *Oecologia* 110: pp. 262-277. doi: 10.1007/s004420050159
- McCartney, M. A. (2021). Structure, function and parallel evolution of the bivalve byssus, with insights from proteomes and the zebra mussel genome. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 376(1825): pp. 1-12. doi: 10.1098/rstb.2020.0155.
- McNeill, M. (2010). Vertical zonation: Studying ecological patterns in the rocky intertidal zone. *Science Activities*, 47(1), 8-14.

- Mendoza-Carranza, M. y Rosales-Casian, J. A. (2002). Feeding ecology of juvenile kelp bass (*Paralabrax clathratus*) and barred sand bass (*P. nebulifer*) in Punta Banda Estuary, Baja California, Mexico. *BULLETIN-SOUTHERN CALIFORNIA ACADEMY OF SCIENCES*, 101(3): pp. 103-117.
- Miller, G. T. y Spoolman, S. E. (2009). *Essentials of Ecology* (5ed). Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Molles, M. C. (2016). *Ecology, concepts and applications* (7ed). McGrawHill Education.
- Nakauchi, M. (1982). Asexual Development of Ascidiaceans: Its Biological Significance, Diversity, and Morphogenesis. *American Zoologist*, 22(4), 753–763. doi:10.1093/icb/22.4.753
- Newell, R. C. (1976). Adaptations to intertidal life. En Newell, R. C. (Ed.), *Adaptation to Environment: Essays on the Physiology of Marine Animals* (pp.1-25). Butterworths.
- Paine, R. T. (1974). Intertidal community structure: experimental studies on the relationship between a dominant competitor and its principal predator. *Oecologia*, 15: pp. 93-120. doi: 10.1007/BF00345739.
- Pawlik, J. R. (1993). Marine invertebrate chemical defenses. *Chemical Reviews*, 93(5), 1911–1922. doi:10.1021/cr00021a012
- Power, M. E., Tilman, D., Estes, J. A., Menge, B. A., Bond, W. J., Mills, L. S., ... y Paine, R. T. (1996). Challenges in the quest for keystones: identifying keystone species is difficult—but essential to understanding how loss of species will affect ecosystems. *BioScience*, 46(8): pp. 609-620. doi: 10.2307/1312990.
- Pechenik, J. A. (2015). *Biology of the Invertebrates* (7ma ed.). McGraw-Hill Education.
- Peterson, C. H. (1991) Intertidal Zonation of Marine Invertebrates in Sand and Mud. *Sigma Xi, The Scientific Research Society*, 7(3): pp. 236-249.
- Quesada, A. J., Acuña, F. H. y Cortés, J. (2014). Diet of the sea anemone *Anthopleura nigrescens*: composition and variation between daytime and nighttime high tides. *Zoological Studies*, 53(1): pp. 1-7. doi: 10.1186/s40555-014-0026-2.
- Raffaelli D. y Hawkins, S. (1999). *Intertidal Ecology* (2 ed.; 1-35 pp.). Kluwer Academic Publishers.
- Recher, H. F. (1966). Some aspects of the ecology of migrant shorebirds. *Ecology*, 47(3): pp. 393-407.
- Ruiz-Campos, G. y Hammann, M. G. (1987). A species list of the rocky intertidal fishes of Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 13(1): pp. 61-69. doi: 10.7773/cm.v13i1.524.
- Schubert, H., Telesh, I., Nikinmaa, M. y Skarlato, S. (2017). Physiological adaptations. En Snoeijs-Leijonmalm, P., Schubert, H. y Radziejewska, T. (eds), *Biological Oceanography of the Baltic Sea* (pp. 255–278). Springer. doi: 10.1007/978-94-007-0668-2_7.
- Smith, A. M. (2002). The structure and function of adhesive gels from invertebrates. *Integrative and Comparative Biology*, 42(6): pp. 1164-1171. doi: 10.1093/icb/42.6.1164.
- Smith, T. M. y Smith, R. L. (2007). *Ecología* (6ed). Pearson Educación.
- Southward, A. J. (1958). The zonation of plants and animals on rocky sea shores. *Biological Reviews*, 33(2): pp. 137-177. doi: 10.1111/j.1469-185X.1958.tb01305.x.
- Strathmann, R. R. (1981). The role of spines in preventing structural damage to echinoid tests. *Paleobiology*, 7(03), 400–406. doi:10.1017/s0094837300004693
- Suggett, D. J., Hall-Spencer, J. M., Rodolfo-Metalpa, R., Boatman, T. G., Payton, R., Tye Pettay, D., ... & Lawson, T. (2012). Sea anemones may thrive in a high CO2 world. *Global Change Biology*, 18(10), 3015-3025.
- Teo, D. S. Y., Chew, S. F., & Ip, Y. K. (2000). L-Cysteine is a Competitive Inhibitor of Pyruvate Kinase from the Intertidal Sipunculan, *Phascolosoma arcuatum*. *Zoological Science*, 17(6), 717–723. doi:10.2108/zsj.17.717
- Trench, R. K. (1988). Specificity in dinomastigote-marine invertebrate symbioses: an evaluation of hypotheses of mechanisms involved in producing specificity. In *Cell to Cell Signals in Plant, Animal and Microbial Symbiosis* (pp. 325-346). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Ustin, S. (1984). Contrasting salinity responses of two halophytes. *California Agriculture*, 38(10): pp. 27-28.
- Vázquez Aguilar, C. I. (2019). Biodiversidad de macroinvertebrados del intermareal rocoso de Isla Guadalupe, Baja California, México [Tesis de maestría]. UABC <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/902/1/ENS090673.pdf>.
- Verdes, A., Simpson, D. y Holford, M. (2018). Are fireworms venomous? Evidence for the convergent evolution of toxin homologs in three species of fireworms (Annelida, Amphionomidae). *Genome biology and evolution*, 10(1): pp. 249-268. doi: 10.1093/gbe/evx279.
- Yoshiyama, R. M., Sassaman, C. y Lea, R. N. (1986). Rocky intertidal fish communities of California: temporal and spatial variation. *Environmental Biology of Fishes*, 17: pp. 23-40. doi: 10.1007/BF00000398.
- Wangensteen, O. S., Turon, X., Palacín, C. y Rossi, S. (2017). Reproductive strategies in marine invertebrates and the structuring of marine animal forests. En Rossi, S., Bramanti, L., Gori, A., Orejas, C. (eds), *Marine Animal Forests* (pp. 571–594). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-21012-4_52.
- Winkler, L. R. y Dawson, E. Y. (1963). Observations and experiments on the food habits of California sea hares of the genus *Aplysia*. *Pac Sci* 17(1): pp.102-105.
- Woodin, S. A. (1974). Polychaete abundance patterns in a marine soft-sediment environment: the importance of biological interactions. *Ecological Monographs*, 44(2): pp. 171-187.
- Plough, L. V., Moran, A., & Marko, P. (2014). Density drives polyandry and relatedness influences paternal success in the Pacific gooseneck barnacle, *Pollicipes elegans*. *BMC Evolutionary Biology*, 14, 1-10.
- Yusa, Y., Yoshikawa, M., Kitaura, J., Kawane, M., Ozaki, Y., Yamato, S., & Høeg, J. T. (2012). Adaptive evolution of sexual systems in pedunculate barnacles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1730), 959-966.



MORTANDAD MASIVA DE PAPAS DE MAR EN TOPOLOBAMPO TRAS EL PASO DEL HURACÁN NORMA

(TUNICATA: *POLYCLINUM CONSTELLATUM*)

/// ISRAEL OSUNA-FLORES¹, ESTELA SAÑUDO-AYALA², LEOBARDO HERNÁNDEZ-PLOMOZA³, JESÚS ANGEL DE LEÓN-GONZÁLEZ⁴ & MARÍA ANA TOVAR-HERNÁNDEZ⁵

¹Universidad Autónoma Indígena de México. Programa Educativo de Ingeniería en Biotecnología. Unidad Virtual.

²Universidad Autónoma Indígena de México. Coordinación del Programa Educativo de Ingeniería en Biotecnología.

³Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias del Mar.

⁴⁻⁵Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Zoología de Invertebrados No Artrópodos, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

*Autor para correspondencia: maria_ana_tovar@yahoo.com



Palabras clave: Ascidacea, especies invasoras, plaga marina, ciclón tropical.

RESUMEN

En esta nota hablaremos de ascidias exóticas invasoras para México, en particular de *Polyclinum constellatum*, un animal que se conoce comúnmente como papa de mar. Se trata de una especie descrita para la isla de Mauricio en el Océano Índico y reportada por primera vez para México en 2010. Desde entonces ha sido reportada en varias localidades del Golfo de California, Veracruz y Chelém (en la península de Yucatán). Se trata del único tunicado incluido en el ACUERDO por el que se determina la Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México. También, reportamos la presencia de la papa de mar en Topolobampo en abril de 2021 con tallas de hasta 30 cm de diámetro, y la mortandad masiva e inusual después del paso del huracán Norma en octubre de 2023.

INTRODUCCIÓN

Las ascidias son animales invertebrados que pertenecen al Phylum Tunicata, Clase Ascidiacea, en conjunto, conocidos como tunicados (Figura 1A). Las ascidias constituyen una importante parte de la comunidad del *fouling* (conocidos como organismos incrustantes o esclerobiontes). La mayor parte de su ciclo de vida son sésiles, estableciéndose en diversos sustratos duros, tanto de origen natural como rocas y conchas de moluscos, como en sustratos de origen antropogénico, ya sean estructuras portuarias (muelles, boyas, cabos sumergidos) o infraestructura de granjas camaronícolas, ostrícolas y piscívoras (charolas de siembra, compuertas, o redes).

RIQUEZA DE ASCIDIAS INCRUSTANTES

La clase Ascidiacea está integrada por aproximadamente 3,000 especies (Shenkar y Swalla, 2011). La mayoría de las ascidias son marinas, aunque hay algunas estuarinas y ninguna dulceacuícola. En las comunidades del *fouling*, las ascidias están representadas por más de 100 especies, 29 géneros y nueve familias (Yan et al. 2017), lo que da muestra de su alta adaptación a vivir en estos sustratos de origen antropogénico y en ambientes modificados. En estos ambientes, las ascidias pueden ser sociales y formar extensos tapetes que cubren completamente la superficies donde se adhieren o bien, pueden ser solitarias y verse como bultos o sacos bien definidos.

PLAGAS MARINAS

Algunas ascidias son reconocidas como plagas marinas que ocasionan grandes problemas a la acuicultura de bivalvos (Fletcher et al. 2013; Lins y Rocha 2020; Moreno-



Figura 1. Algunos tipos de ascidias. A) Ascidia colonial del género *Clavelina* adherida al casco de un barco en el puerto de La Paz, Baja California Sur. B) Ascidias invasoras “papas de mar” (*Polyclinum constellatum*) y “vómitos de mar” (*Didemnum perllucidum*) sobre un neumático hundido en el puerto de Mazatlán. Fotos: A) Humberto Bahena-Basave, B) María Ana Tovar-Hernández.

Dávila et al. 2021, 2023), pues el crecimiento masivo de estas incrementa el peso de las charolas y cajas de siembra, limitando el flujo de agua, ocasionando a veces su hundimiento y el colapso de los sistemas de cultivo, además de la mortandad de los bivalvos, generando importantes pérdidas económicas (Getchis, 2006; Yan et al. 2017).

¿CUÁNTAS ASCIDIAS PLAGA HAY EN MÉXICO?

Las ascidias plaga están constituidas por las llamadas especies exóticas invasoras. Una especie exótica invasora es aquella que no es nativa, que se encuentra fuera de su ámbito de distribución natural, que es capaz de sobrevivir, reproducirse y establecerse en hábitat y ecosistemas alternos a los originales y que amenaza la diversidad biológica nativa, la economía y la salud pública (Diario Oficial de la Federación, 2021).

En un análisis de hace poco más de una década, Tovar-Hernández (2012a) enlistó 13 especies de ascidias exóticas tan solo para el Pacífico mexicano. Desde entonces, se ha documentado la presencia de tres especies exóticas más para el Pacífico (Sheets et al. 2006; Dias et al. 2016, 2021; Moreno-Dávila et al. 2021, 2023; Tovar-Hernández et al. 2022), mientras que para el Atlántico mexicano, se han reportado ascidias exóticas para los puertos de Veracruz (Sheets et al. 2006; Dias et al. 2016, 2021; Tovar-Hernández et al. 2022), Sisal, Progreso,

Champotón, Chelém, e incluso en Cayo Arcas (Palomino-Alvarez et al. 2019, 2022), sumando un total de 17 ascidias exóticas invasoras en el país (Tabla 1).

NOMBRES COMUNES DE ASCIDIAS PLAGAS EN EL PACÍFICO MEXICANO

En el Pacífico mexicano, las ascidias adheridas a sustratos duros de origen antropogénico y en cultivos de bivalvos, se conocen comúnmente como “vómitos de mar”, representadas por algunas ascidias coloniales de diversos colores que van desde la gama de los blancos como *Didemnum perlucidum* Monnriot, 1983, hasta el marrón o rojo, formando densos y extensos tapetes que cubren las superficies antropogénicas como boyas, cascos de embarcaciones y cabos sumergidos, entre otros, pero también cubren la superficie de otros moluscos, balanos, anélidos e incluso a otras especies de ascidias (Figura 1B). Su aspecto y textura babosa como vómitos, explican su nombre común.

En estos sustratos antropogénicos, también están representados los “meones de mar” o “chorros de mar” (Figura 2), integrados por ascidias solitarias que al alimentarse o al estar en contacto entre ellas, expulsan un chorro de agua por su sifón, como *Styela clava* Monnriot, Monnriot y Millar, 1976 o *S. plicata* (Lesueur, 1823), y de ahí su nombre común.

Tabla 1. Registros de ascidias exóticas invasoras para México

Especie	Registros
<i>Ascidia zara</i> Oka, 1935	San Quintín (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2008)
<i>Botrylloides niger</i> Herman, 1866	Nayarit, Veracruz (Sheets et al. 2006); San Carlos, Guaymas, Topolobampo, La Paz, Mazatlán, Teacapán, Veracruz (Tovar-Hernández et al. 2022); Cayo Arcas (Palomino-Alvarez et al. 2022)
<i>Botrylloides perspicuum</i> Herdman, 1886	San Quintín (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2008)
<i>Botrylloides violaceus</i> Oka, 1927	Ensenada (Lambert y Lambert, 2003); San Quintín (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2008); La Paz, Guaymas (Tovar-Hernández et al. 2012b); Topolobampo, Guaymas, La Paz (Tovar-Hernández et al. 2014)
<i>Botryllus schlosseri</i> (Pallas, 1766)	Ensenada (Lambert y Lambert, 2003); San Quintín (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2008); La Paz, Guaymas, Topolobampo (Tovar-Hernández et al. 2012b); Topolobampo, Guaymas, La Paz (Tovar-Hernández et al. 2014)
<i>Ciona intestinalis</i> (Linnaeus, 1767)	Ensenada (Lambert y Lambert, 2003)
<i>Cystodytes roseolus</i> Hartmeyer, 1912	Progreso (Palomino-Alvarez et al. 2019)
<i>Didemnum perlucidum</i> Monnriot, 1983	Veracruz, Mazatlán (Dias et al. 2016, 2021); San Carlos, Guaymas, Topolobampo, La Paz, Mazatlán, Teacapán, Veracruz (Tovar-Hernández et al. 2022)
<i>Distaplia stylifera</i> (Kowalevsky, 1874)	La Paz (Moreno-Dávila et al. 2021, 2023; Cruz Escalona et al. 2021)
<i>Lissoclinum fragile</i> (Van Name, 1902)	La Paz, Guaymas, Topolobampo (Tovar-Hernández et al. 2012b); Topolobampo, Guaymas, La Paz (Tovar-Hernández et al. 2014)
<i>Microcosmus exasperatus</i> Heller, 1878	Champotón, Progreso, Sisal (Palomino-Alvarez et al. 2019)
<i>Microcosmus squamiger</i> Michaelsen, 1927	Ensenada (Lambert y Lambert, 2003); San Quintín (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2008)
<i>Polyandrocarpa zorritensis</i> (Van Name, 1931)	Ensenada (Lambert y Lambert, 2003); San Quintín (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2008)
<i>Polyclinum constellatum</i> Savigny, 1816	Mazatlán (Tovar-Hernández et al. 2010); La Paz, Guaymas, San Carlos, Topolobampo, Estero de Urías (Tovar-Hernández et al. 2012b); Topolobampo, Guaymas, La Paz (Ramírez-Santana, 2013); Topolobampo, Guaymas, San Carlos, La Paz (Tovar-Hernández et al. 2014); Chelém (Palomino-Álvarez et al. 2019)
<i>Styela clava</i> Monnriot, Monnriot & Millar, 1976	Ensenada (Lambert y Lambert, 2003)
<i>Styela plicata</i> (Lesueur, 1823)	Ensenada (Lambert y Lambert, 2003); San Quintín (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2008); La Paz (Tovar-Hernández et al. 2014)
<i>Symplegma reptans</i> (Oka, 1927)	San Quintín (Rodríguez e Ibarra-Obando, 2008)

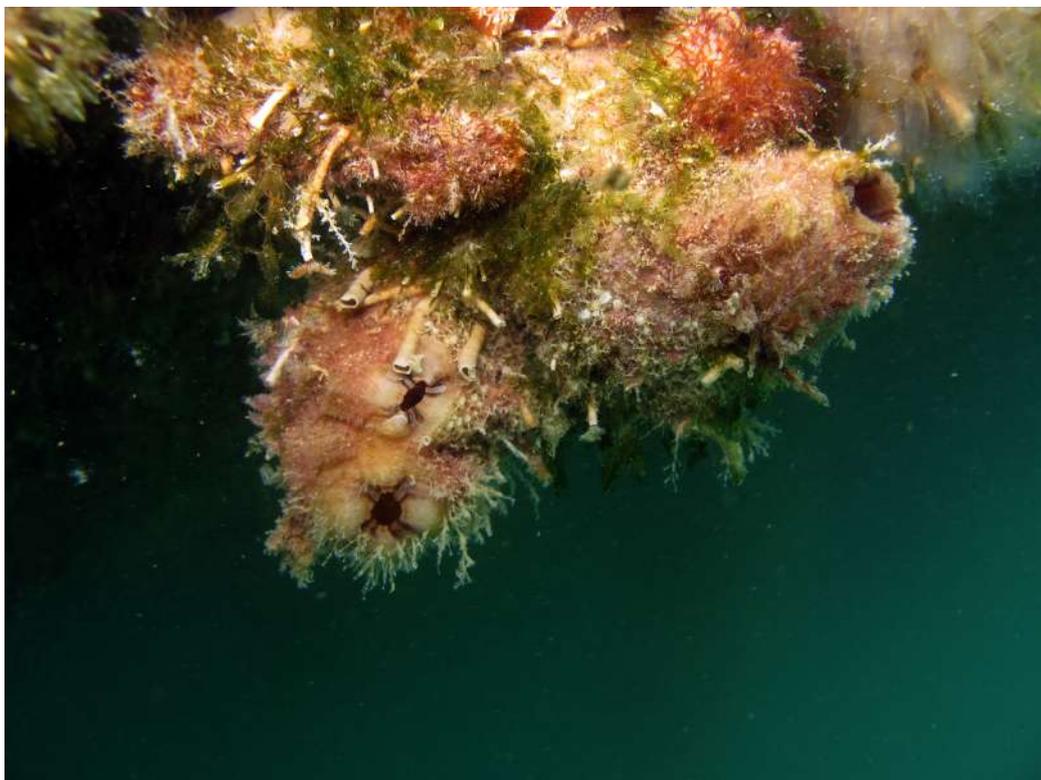


Figura 2. Ascidia invasora “meón de mar” o “chorro de mar” (*Styela plicata*) adherida a un muelle del puerto de la Paz, Baja California Sur. Foto: Humberto Bahena-Basave.



Figura 3. “Papas de mar” (*Polyclinum constellatum*) recolectadas en muelles del Club de Yates Palmira Topolobampo en 2021. Tamaño de las charolas: 30 cm x lado. Fotos: María Ana Tovar-Hernández.

Asimismo, hay un tercer grupo conocido como papas de mar, representado por *Polyclinum constellatum* Savigny, 1816, ascidias coloniales cuyas formas semejan papas (Figura 3), tunas o nonis.

SOBRE LA PAPA DE MAR *POLYCLINUM CONSTELLATUM* SAVIGNY, 1816 EN MÉXICO

La ascidia papa de mar *Polyclinum constellatum* fue descrita originalmente para la Isla Mauricio, en el océano Índico. Se reportó por vez primera en 2010 sobre boyas metálicas del puerto de Mazatlán entre 0.5 y 1 m de profundidad, y en charolas de cultivos del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* (ahora en el género *Magellana*) (Figura 4) cercanos al puerto de Topolobampo (Tovar-Hernández et al. 2010).

Posteriormente, Ramírez-Santana (2013) la reportó en estructuras portuarias de Topolobampo, Guaymas y La Paz, en densidades de 267, 483 y 48 ind/m², respectivamente. Fue reportada recientemente en Chelém, en la península de Yucatán por Palomino-Alvarez et al. (2019). En el marco del proyecto Biota Portuaria liderado por dos de los coautores (JADL-G y MAT-H), las papas de mar se detectaron el 6 de abril del 2021 en el Club de Yates Palmira Topolobampo (temporada de estiaje), particularmente sobre los muelles y estructuras flotantes a no más de 1 m de profundidad, donde resultaron el grupo dominante en la comunidad esclerobionte, con densidades de hasta 38 ind/m², y en algunos muelles representados por ejemplares de tallas sorprendentes de hasta 30 cm de diámetro máximo, aunque la mayoría estaban moribundas o en proceso de descomposición (Figura 3).

UNA PAPA DE MAR REGULADA EN LAS LEYES MEXICANAS

El análisis de riesgo de *Polyclinum constellatum* realizado por Ramírez-Santana (2013) favoreció la inclusión de la especie en el ACUERDO por el que se determina la Lista de las Especies Exóticas Invasoras para México (Diario Oficial de la Federación, 2006), siendo la única especie de tunicado en tal lista. Si bien la lista no es definitiva, se espera que en la próxima actualización se incorporen por lo menos otras dos ascidias que han demostrado ser de alto riesgo para México: *Distaplia stylifera* (Kowalevsky, 1874) y *Didemnum perllucidum* Monniot, 1983, pues hay evidencia suficiente de los impactos que ocasionan en cultivos de callo de hacha (*Atrina maura* Sowerby, 1835) y en otros sustratos, tanto naturales como de origen antropogénico (Moreno-Dávila et al. 2021, 2023; Cruz Escalona et al. 2021; Tovar-Hernández et al. 2022).

¿CÓMO ES LA ASCIDIA PAPA DE MAR POLYCLINUM CONSTELLATUM?

Es una ascidia colonial de consistencia gelatinosa al tacto, con una superficie lisa y de textura suave. Su forma general es redonda u oval. Está constituida por decenas a centenas de individuos muy pequeños llamados zooides. Presenta coloraciones diversas:

púrpura, marrón, rojo o verde oscuro. Después de la muerte pierde intensidad cromática y se torna grisácea a blancuzca. Su talla oscila entre los 2 y 30 cm. Los zooides se encuentran dispuestos en sistemas que figuran una estrella. Al centro del sistema se encuentra la apertura cloacal común, que es ovalada o redonda. Sobre toda la túnica se pueden encontrar más de cinco aperturas cloacales distribuidas irregularmente. Cada apertura cloacal común presenta entre 20 y 67 zooides conectados a ella mediante un canal blanco que proviene del sifón atrial (Ramírez-Santana, 2013).

HURACÁN NORMA

El huracán Norma, transformado en depresión tropical se ubicó el 22 de octubre de 2023 a las 21:00 a 65 km al sur de Topolobampo, con un desplazamiento al este-noreste a 7 km/h, vientos máximos sostenidos de 95 km/h y rachas de 110 km/h, ocasionando trombas marinas y oleaje de 4 a 6 m de altura (Servicio Meteorológico Nacional, 2023a) (Figura 5). La precipitación acumulada del 20 al 22 de octubre se estimó entre 200 y 250 mm (Servicio Meteorológico Nacional, 2023b). Las mareas del 20 al 22 de octubre oscilaron entre de 1.25 m (marea más alta) a 0 m (marea más baja), con fase lunar en Cuarto Creciente (Secretaría de Marina, 2023). A pesar de ello, el recinto portuario y terminales marítimas no tuvieron afectaciones.

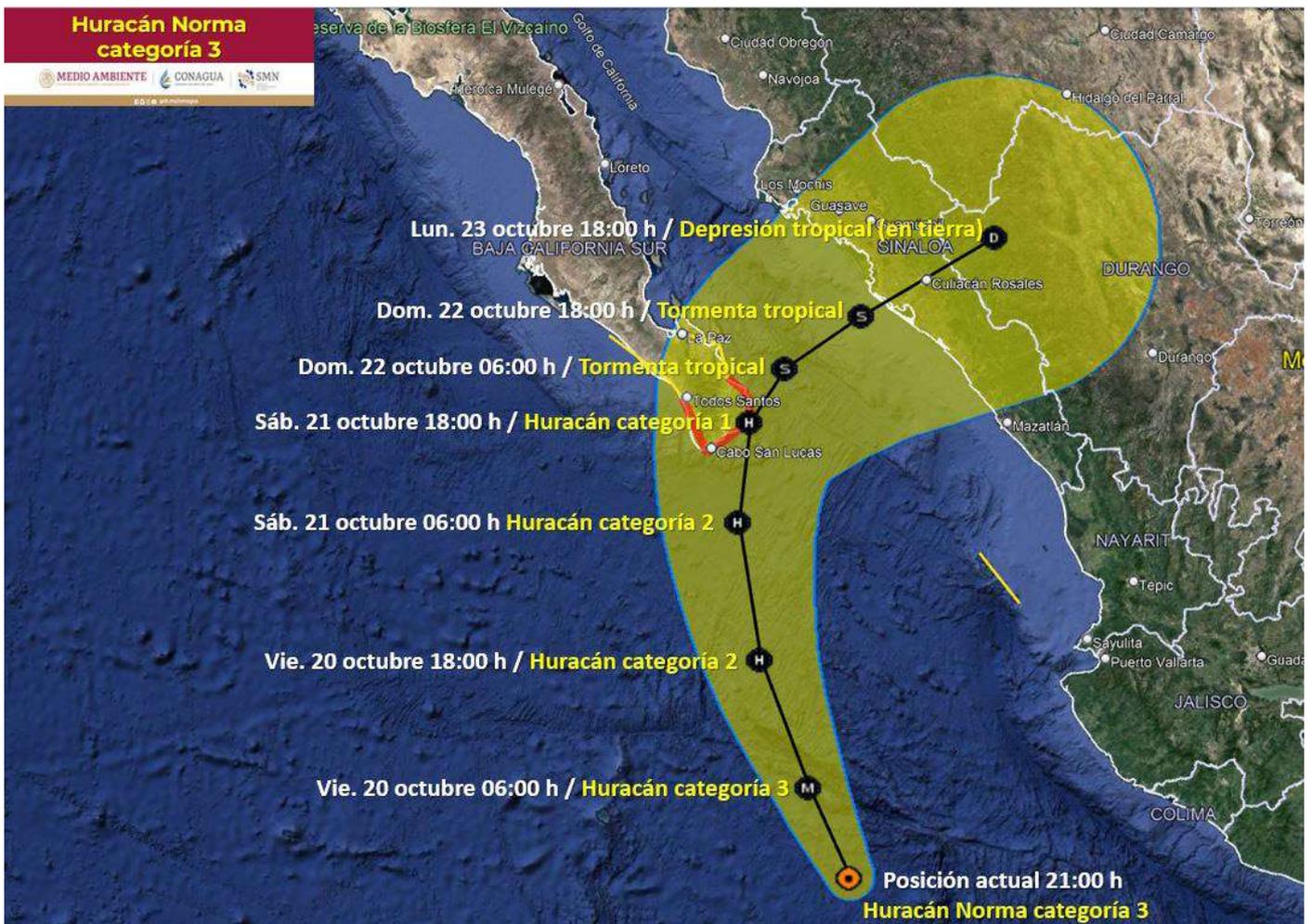


Figura 5. Trayectoria del Huracán Norma. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.



RECALADO MASIVO DE PAPAS DE MAR

Norma ocasionó el arrastre y la acumulación masiva de ascidias papas de mar en la zona turística del malecón de Topolobampo (Figura 6). La reportera Esthela García presentó la primicia el 26 de octubre de 2023 en un diario digital ([Luz Noticias 2023](#)) y el 28 de octubre el primer autor de esta nota acudió al sitio para documentar el fenómeno.

De acuerdo con versiones de diferentes trabajadores del mar (com. pers.), se piensa que debido al fuerte oleaje ocasionado por Norma, estos organismos fueron desprendidos de los sustratos donde habitualmente se encuentran, y fueron arrastrados por las corrientes en línea paralela hacia el noroeste rumbo a la desembocadura al golfo de California, quedando flotando en una zona de baja energía y dinamismo costero, como lo es la zona costera frente al malecón de Topolobampo (Figura 7).

El desprendimiento ocasionado por el fuerte oleaje es altamente factible, pues hasta la fecha, las papas de mar solo se han reportado en zonas someras de Topolobampo, no mayores a 1 m de profundidad, aunque es importante enfatizar que son necesarios monitoreos para conocer la distribución real de la especie en la bahía de Topolobampo, así como su rango de profundidad. Hasta ahora, los únicos registros publicados corresponden a la zona de influencia del Club de Yates Palmira Topolobampo y granjas ostrícolas aledañas (Tovar-Hernández et al. 2014).

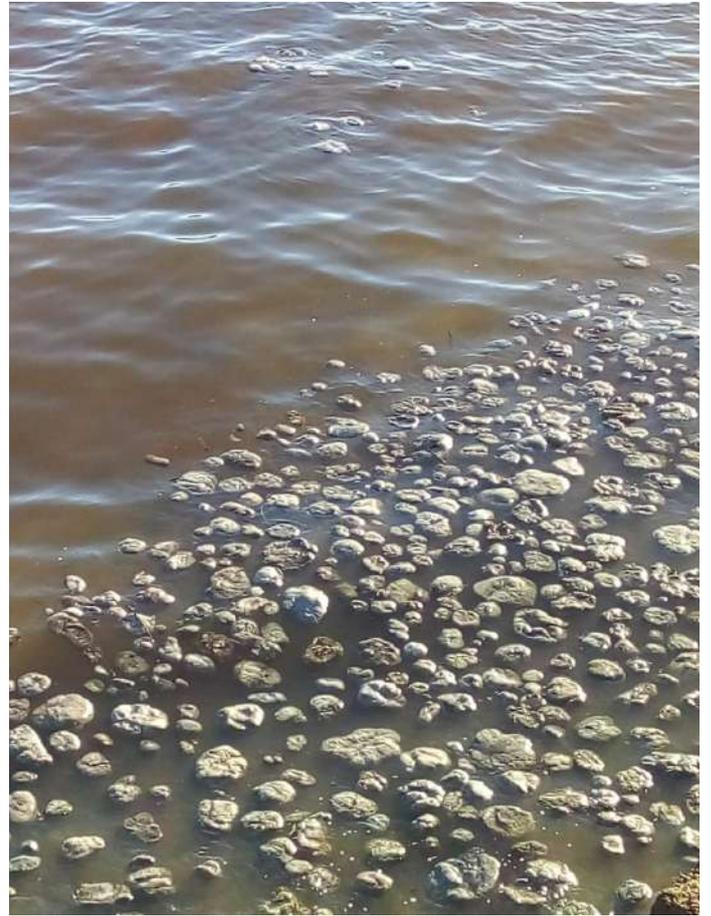
Por otro lado, la precipitación acumulada por el huracán Norma en Topolobampo pudo ocasionar cambios drásticos en la salinidad del agua superficial, y ocasionar la muerte y el desprendimiento de las ascidias, pues habitan en zonas someras; sin embargo, no se cuenta con mediciones de esos parámetros ambientales durante y después del fenómeno meteorológico.



Figuras 6 y 7. Acumulación masiva de “papas de mar” (*Polyclinum constellatum*) en el malecón del puerto de Topolobampo. Fotos: Luz Noticias.

Desafortunadamente, la gran extensión que ocuparon las papas de mar en la superficie de la línea de costa del puerto de Topolobampo originaron un problema estético, además de una fuerte pestilencia en la zona de muelles y el malecón, ocasionada por la muerte y descomposición de las ascidias. Con los cambios del nivel de marea, las ascidias quedaron varadas en la playa, expuestas al sol, a la desecación y a la inminente descomposición (Figuras 8–10). Los fuertes olores fueron detectados por los

Figura 8. "Papas de mar" (*Polyclinum constellatum*) flotando durante la pleamar en el malecón de Topolobampo. Fotos: Israel Osuna Flores.



habitantes, los transeúntes, visitantes y trabajadores del mar y fue el motivo de la nota periodística.

Sin embargo, los trabajadores del mar también reportan que estos eventos de acumulación masiva de papas de mar son comunes año con año en los meses de lluvia, aunque no con la intensidad reportada tras el paso de la depresión tropical Norma.

¿QUÉ SIGUE?

El reporte de acumulación masiva de papas de mar en Topolobampo después del paso de un fenómeno meteorológico es un llamado de alerta para los tomadores de decisiones locales, estatales y federales, así como a la comunidad científica.

En el caso de los primeros, es necesaria la elaboración de un plan de acción inmediato para remover de manera oportuna todos los ejemplares antes de que estos ocasionen problemas estéticos y de salud, debido al fuerte olor a descomposición tanto a residentes como visitantes, con las posibles consecuencias del arribo de otras plagas como moscas, que podrían afectar también a los comercios de venta de alimentos de la zona. Asimismo, al tratarse de una especie exótica invasora y regulada en las normas mexicanas (Diario Oficial de la Federación, 2006), el gobierno municipal, estatal y federal debería destinar una partida presupuestaria para el desarrollo de proyectos científicos que permitan conocer las variables que ocasionan estos fenómenos de acumulación masiva en la localidad.

Para los científicos el suceso alerta sobre la necesidad de estudios detallados sobre la dinámica poblacional de la papa de mar, así como aspectos físico-químicos-biológicos que están ocasionando el crecimiento excesivo en la talla de las acidias y en su biomasa. Asimismo, es imperante estudiar y conocer los impactos que está ocasionando la especie invasora en la biota nativa. A la par se deben proponer alternativas de manejo, o para el aprovechamiento biotecnológico del recurso como una solución al manejo de la especie invasora. Y finalmente, también se deben estudiar con especial atención, los efectos del cambio climático en eventos climatológicos, y con ello predecir el comportamiento de la especie exótica invasora en escenarios del calentamiento global.

AGRADECIMIENTOS

Los muestreos del 2021 en Topolobampo fueron realizados en el marco del Proyecto Biota Portuaria, financiado por el Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-CONACYT A3-S-73811. Agradecemos al Ing. Reyomar Ramírez Peñato, gerente del Club de Yates Palmira-Topolobampo por las facilidades otorgadas y a los hombres del mar, cuyos testimonios nos ayudan a comprender la problemática desde una perspectiva social. Agradecemos también la lectura crítica y recomendaciones de Sergio I. Salazar-Vallejo (ECOSUR-Chetumal).



Figura 9 y 10. “Papas de mar” (*Polyclinum constellatum*) recaladas en el malecón de Topolobampo durante la bajamar. Fotos: Israel Osuna Flores.



LITERATURA CITADA

- Cruz-Escalona, V.H., M. Muñoz Ochoa, S. Ramírez Luna, R.N. Aguila Ramírez. 2021. Ascidiias invasoras ¿un problema ambiental o una ventana de oportunidades?. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 25 (75): 37–43.
- Diario Oficial de la Federación. 2006. ACUERDO por el que se determina la lista de las especies exóticas invasoras para México. 07 de diciembre de 2006.
- Diario Oficial de la Federación. 2021. LEY General de Vida Silvestre (LGVS). Publicada el 3 de julio de 2000. Última reforma 20 de mayo de 2021.
- Dias, P.J., R. Rocha, S. Godwin, M.A. Tovar-Hernández, M.V. De La Hoz, S. McKirdy, P. de Lestang, J. McDonald, M. Snow. 2016. Investigating the cryptogenic status of the sea squirt *Didemnum perlucidum* (Tunicata, Ascidiacea) in Australia based on a molecular study of its global distribution. *Aquatic Invasions*. 11 (3): 239–245.
- Dias, P.J., S.S. Lukehurst, T. Simpson, R. Rocha, M.A. Tovar Hernández, C. Wellington, J.I. McDonald, M. Snow, W.J. Kennington. 2021. Multiple introductions and regional spread shape the distribution of the cryptic ascidian *Didemnum perlucidum* in Australia: an important baseline for management under climate change. *Aquatic Invasions*. 16 (2): 297–313.
- Fletcher, L.M., B.M. Forrest, J.J. Bell. 2013. Impacts of the invasive ascidian *Didemnum vexillum* on green-lipped mussel *Perna canaliculus* aquaculture in New Zealand. *Aquaculture Environmental Interactions*. 4: 17–30.
- Getchis, T.S. 2006. What's putting some aquaculturists in a "foul" mood. *Wrack Lines*. 8–10.
- Lambert, C.C., G. Lambert. 2003. Persistence and differential distribution of nonindigenous ascidians in harbors of the southern California Bight. *Marine Ecology Progress Series*. 259: 145–161.
- Lins, D.M., R.M. Rocha. 2020. Cultivated brown mussel (*Perna perna*) size is reduced through the impact of three invasive fouling species in southern Brazil. *Aquatic Invasions*. 15 (1): 114–126.
- Luz Noticias (2023). Papa de mar: ¿Es el olor nauseabundo en Topolobampo? En: <https://www.luznoticias.mx/2023-10-26/Sinaloa.papa-de-mar-es-el-olor-nauseabundo-en-topolobampo-/182346> (consultado el 08/11/2023).
- Moreno-Dávila, B., L. Huato-Soberanis, J. Gómez-Gutiérrez, C. Galván-Tirado, C. Sánchez, T. Alcoverro, E.F. Balart, X. Turon. 2023. Taxonomic identity of *Distaplia stylifera* (Tunicata, Ascidiacea), a new arrival to the eastern Pacific displaying invasive behavior in the Gulf of California, Mexico. *ZooKeys*. 1157: 109–125.
- Palomino-Alvarez, L.A., R.M. Rocha, N. Simões. 2019. Checklist of ascidians (Chordata, Tunicata) from the southern Gulf of Mexico. *ZooKeys*. 832: 1–33.
- Palomino-Alvarez, L.A., M.L. Nydam, R.M. Rocha, N. Simões. 2022. New *Botrylloides*, *Botryllus*, and *Symplegma* (Ascidiacea: Styelidae) in Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico and Mexican Caribbean Sea. *Diversity*. 14: 977.
- Ramírez-Santana, I.D. 2013. Distribución de la ascidia exótica invasora *Polyclinum constellatum* Savigny, 1816 en el Golfo de California y análisis de riesgo a la biodiversidad nativa. Tesis de Licenciatura, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, 75pp.
- Rodríguez, L.F., S.E. Ibarra-Obando. 2008. Cover and colonization of commercial oyster (*Crassostrea gigas*) shells by fouling organisms in San Quintin bay, Mexico. *Journal of Shellfish Research*. 17 (2): 337–343.
- Savigny, J.C. 1816. Mémoires sur les Animaux sans Vertèbres. Première partie: Description et Classification des animaux invertébrés et articles, connus sous les noms de Crustacés, d'Insectes, d'Annelides, etc. (mémoires 1–2), pp 1–117, 12 Pls. Seconde Partie: Description et Classification des Animaux invertébrés, non articulés, connus sous les noms de Mollusques, de Radiaires, de Polypes, etc. Premier fascicule (mémoires 1-3: Recherches anatomiques sur les Ascidies composées et sur les Ascidies simples. — Systeme de la classe des Ascidies; pp 1–239, 24 Pls. Deterville, Paris. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/132833#page/9/mode/1up>
- Secretaría de Marina. 2023. Estación Mareográfica de Topolobampo, Sin. En: https://oceanografia.semarn.gob.mx/Templates/grafnum_topolobampo.html (consultado el 08/11/2023).
- Servicio Meteorológico Nacional. 2023a. Aviso No. 083–23. Comisión Nacional del Agua. En: <https://smn.conagua.gob.mx/files/pdfs/comunicados-de-prensa/Aviso083-23.pdf> (consultado el 08/11/2023).
- Servicio Meteorológico Nacional. 2023b. Precipitación acumulada (mm) del 20 al 22 de octubre de 2023 por el huracán Norma. En: <https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/lluvias-asociadas-a-ciclones-tropicales> (consultado el 08/11/2023).
- Sheets, E.A., C.S. Cohen, G.M. Ruiz, R.M. Rocha. 2016. Investigating the widespread introduction of a tropical marine fouling species. *Ecology and Evolution*. 6 (8): 2453–2471.
- Shenkar, N., B.J. Swalla. 2011. Global Diversity of Ascidiacea. *PLoS ONE*. 6 (6): e20657.

- Tovar-Hernández, M.A., E. Suárez-Morales, B. Yáñez-Rivera. 2010. The parasitic copepod *Haplostomides hawaiiensis* (Cyclopoida) from the invasive ascidian *Polyclinum constellatum* in the southern Gulf of California. *Bulletin of Marine Science*. 86 (3): 637–648.
- Tovar-Hernández, M.A. 2012a. Capítulo VI: Tunicata. Pp. 85–104. En: Low Pfeng, A.M. & E.M. Peters Recagno (Eds.). *Invertebrados marinos exóticos en el Pacífico mexicano*. Geomare, A. C., INE-SEMARNAT, México, 235 pp.
- Tovar-Hernández, M.A., T.F. Villalobos-Guerrero, B. Yáñez-Rivera., J.M. Aguilar-Camacho, I.D. Ramírez-Santana. 2012b. Guía de invertebrados acuáticos exóticos en Sinaloa. Geomare, A. C., USFWS, INE-SEMARNAT, Mazatlán, México, 41 pp.
- Tovar-Hernández, M.A., B. Yáñez-Rivera., T.F. Villalobos-Guerrero, J.M. Aguilar-Camacho & I.D. Ramírez-Santana. 2014. Invertebrados marinos exóticos en el Golfo de California. En: Low Pfeng, A., P. Quijón & E. Peters (Eds.). *Especies invasoras acuáticas: casos de estudio en ecosistemas de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), University of Prince Edward Island (UPEI). Segunda parte, distribución de especies invasoras: casos de estudio. Capítulo 16: 381–409 pp.
- Tovar-Hernández, M.A., J.A. de León-González, M.E. García-Garza. 2022. New records of two invasive ascidians in the Gulf of California (Tunicata: Ascidacea), with additional records from Veracruz, Mexico. *GEOMARE ZOOLOGICA*. 4 (2): 23–37.
- Yan, T., S.S. Han, J.J. Wang, H.S. Lin, W.H. Cao. 2017. An overview of fouling ascidians. *Acta Ecologica Sinica*. 37 (20): 6647–6655.

BACILLUS: UNA BACTERIA VERSÁTIL, MULTIFUNCIONAL Y AMPLIAMENTE APLICADA

▮ GUSTAVO DE J. SAN MIGUEL-GONZÁLEZ¹, MARÍA E. ALEMÁN-HUERTA^{1*}, GLENDA B. RAMÍREZ-CHARLES¹, DIEGO P. NAVARRO-DÍAZ¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Instituto de Biotecnología, México

*Autor de correspondencia: maria.alemanhr@uanl.edu.mx

RESUMEN

Las bacterias son microorganismos procariotas que han estado presentes desde el inicio de la vida en la Tierra; y el género *Bacillus*, descubierto desde los inicios de la Microbiología, se considera un género fascinante por su amplia distribución en el planeta, fácil cultivo a nivel laboratorio, así como por su relevancia para la biosíntesis de metabolitos de importancia en la vida actual, tales como la producción de bioplásticos, péptidos antimicrobianos, enzimas, bioinsecticidas, etc. Por lo tanto, el objetivo del presente escrito es describir la relevancia del género *Bacillus*, en diversos ámbitos científicos y tecnológicos.

ABSTRACT

Bacteria are prokaryotic microorganisms that have been around since the beginning of life on Earth; and the genus *Bacillus*, discovered since the beginning of Microbiology as a Science, is considered a fascinating genus due to its wide distribution on the planet, easy cultivation at the laboratory level, as well as its relevance in various industrial fields such as the production of bioplastics, antimicrobial peptides, enzymes, bioinsecticides, etc. Therefore, the objective of this paper is to describe the relevance of the genus *Bacillus*, in various scientific and technological fields.



Palabras clave: Biotecnología, *Bacillus*, Aplicaciones Industriales, Compuestos biotecnológicos.

Keywords: Biotechnology, *Bacillus*, Industrial Applications, Biotechnological compounds.

INTRODUCCIÓN

El género *Bacillus* (pertenece al dominio Bacteria; Filo Firmicutes; Clase Bacilli; Orden Bacillales y Familia Bacillaceae) (Maughan & Van der Auwera, 2011) fue reportado por primera vez por Cohn (1872), quien lo describió como bacterias productoras de endosporas resistentes al calor. Este microorganismo conforma una plétora de especies en la naturaleza que se caracterizan por ser bacterias Gram positivas, aerobias o facultativas, y que tienen una particular forma de bastón (Fig. 1) (Abriouel et al., 2011). Son capaces de producir metabolitos secundarios útiles y poseen la capacidad de sobrevivir y crecer en ecosistemas variados gracias a sus propiedades fisiológicas (Jezewska et al., 2018). Entre las especies más comunes e importantes de este género se encuentran *B. subtilis*, *B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. megaterium* y *B. licheniformis* (Miljaković, D, et al., 2020).

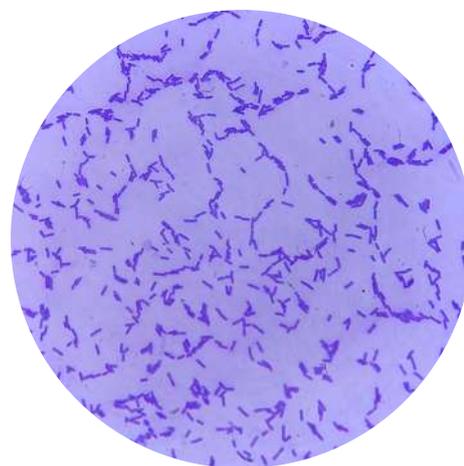


Figura 1. *Bacillus* sp. observada en 100X al microscopio óptico de campo claro (tinción simple con cristal violeta).

DISTRIBUCIÓN EN EL PLANETA

Bacillus es reconocido como uno de los géneros bacterianos principales en el interés científico e industrial, debido a que se encuentra comúnmente en el suelo, así como en todos los ecosistemas naturales del planeta, desde la superficie hasta las capas más profundas, y colonizando la rizosfera de las plantas. Este microorganismo es una bacteria esporulada, por lo que es productora de esporas. Las esporas se definen como estructuras de diversos géneros bacterianos, que permiten al microorganismo soportar condiciones adversas tales como carencia de nutrientes, temperaturas extremas, deshidratación, y pueden ser dispersadas fácilmente por el agua y el viento. Las esporas pueden sobrevivir por millones de años; y cuando las condiciones ambientales mejoran, comienza nuevamente su ciclo de vida (Camilleri, et al., 2019). Las esporas mejor estudiadas son las del género *Bacillus*, les confieren resistencia y potencian su aislamiento en diversos ecosistemas, tanto acuáticos como terrestres, e incluso en ambientes bajo condiciones extremas. Se ha reportado que las bacterias de este género pueden alcanzar valores mayores al 20% del total de las bacterias presentes en el suelo (Tejera-Hernández, et al., 2011).

CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS

Entre sus características destaca su crecimiento aerobio o en ocasiones anaerobio facultativo, morfología bacilar, movilidad flagelar, y tamaño variable (0.5 a 10 μm). Su crecimiento óptimo ocurre a pH neutro, presentando un amplio intervalo de temperaturas de crecimiento, aunque la mayoría de las especies son mesófilas (temperatura entre 30 y 45 $^{\circ}\text{C}$); su diversidad metabólica es asociada a la promoción del crecimiento vegetal y control de patógenos (Tejera-Hernández, et al., 2011). En cuanto a sus esporas, pueden ser ovoides o cilíndricas, además, la mayoría de las especies las presentan en posición central, y pocas en posición terminal. Cabe destacar que funcionan como mecanismo de resistencia a diversos tipos de estrés (Calvo & Zuñiga, 2010; Layton, et al., 2011).

CICLO DE REPRODUCCIÓN

La presencia de endosporas le confiere al género *Bacillus* su capacidad de diseminación y prevalencia en los ecosistemas, éstas se forman durante su segunda fase del ciclo de vida, el cual comprende una fase de crecimiento vegetativo y una fase de esporulación (Villarreal-Delgado, et al., 2018) (Fig. 2).

Durante la primera etapa, la bacteria crece de forma exponencial por medio de fisión binaria, siempre que se encuentre en un medio con las condiciones favorables para su desarrollo. La segunda fase comienza como un método de supervivencia en presencia de algún tipo de estrés, como por ejemplo escasez de nutrientes, factores externos como salinidad, temperatura, pH, entre otros), así la célula vegetativa inicia la formación de la endospora, lo cual implica la división celular asimétrica, dando lugar a la formación de dos compartimentos, célula madre y la inmersión de una preespora. Posteriormente, la preespora es devorada, formando una célula dentro de la célula madre. Durante las etapas posteriores, la preespora es recubierta de capas protectoras (componentes proteicos, peptidoglicano y una pared que reside debajo de ésta, formada por células germinales), seguido de la deshidratación, y la maduración final de la preespora. Finalmente, la célula madre se lisa mediante muerte celular programada, liberando la endospora (Villarreal-Delgado, et al., 2018). La endospora puede permanecer viable en el ambiente hasta que las condiciones son favorables para iniciar sus procesos metabólicos y generar una célula vegetativa (CALS, 2016).

Por lo anterior, la formación de endosporas resistentes al calor y desecación es una característica importante que permite la formulación de productos biotecnológicos (Pérez-García, et al., 2011).

POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO E INDUSTRIAL

B. subtilis (una de las especies más conocidas y estudiadas) puede crecer en casi cualquier fuente de carbono y nitrógeno, debido a que sus enzimas descomponen proteínas y carbohidratos, entre otros compuestos. Tales

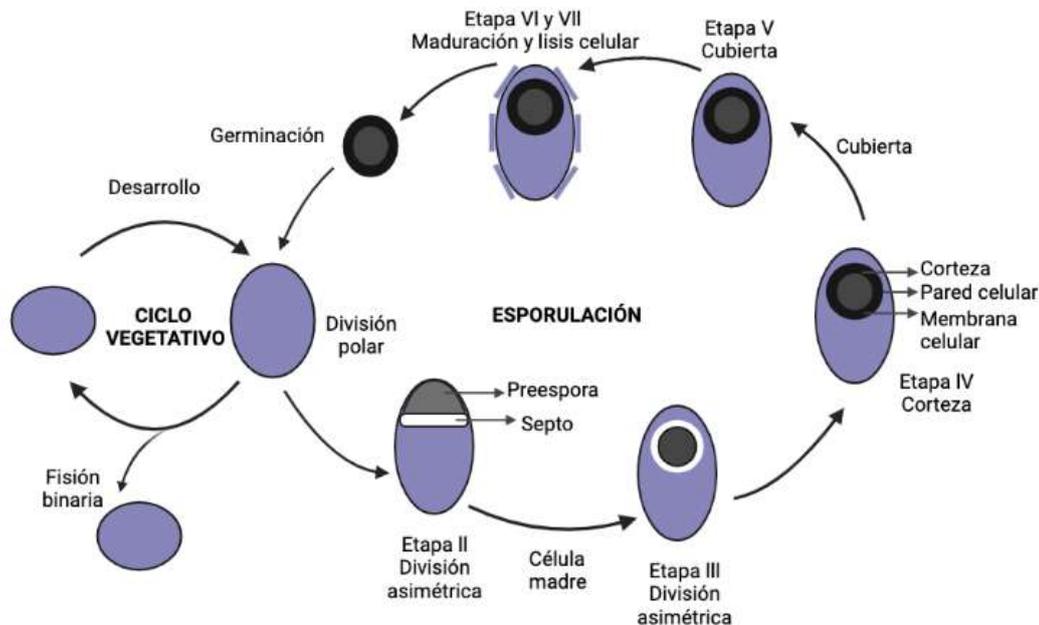


Figura 2. Ciclo de reproducción del género *Bacillus*. Modificado de (Villarreal-Delgado, et al., 2018).

enzimas, podrían prevenir enfermedades al mejorar la calidad del agua a través de la biorremediación de estanques (Cui W, et al., 2018). La secuencia del genoma de una cepa de *B. subtilis* ha proporcionado muchos conocimientos sobre los estilos de vida del organismo. De acuerdo con la opinión de que la bacteria no es un patógeno, no se encontraron genes que codifiquen factores de virulencia conocidos. Adicionalmente, el genoma codifica numerosas vías para la utilización de moléculas derivadas de plantas, lo que refuerza la idea de que esta especie se asocia íntimamente con las plantas (Kunst, et al., 1997). Una observación desafió la creencia arraigada de que *B. subtilis* era un aerobio obligado; se encontraron genes que codifican una supuesta nitrato reductasa respiratoria. Esto sugirió que *B. subtilis* debería poder crecer anaeróbicamente utilizando nitrato en lugar de oxígeno como aceptor de electrones. Desde entonces, se ha demostrado experimentalmente el crecimiento anaeróbico de *B. subtilis* en presencia de nitrato (Folmsbee, et al., 2004).

La secuencia del genoma también reveló que *B. subtilis* ha dedicado una parte relativamente grande de su genoma (~4 %) a producir metabolitos secundarios. Algunos de estos compuestos son potentes inhibidores de hongos y bacterias y probablemente permiten que *B. subtilis* compita en el ambiente natural, promuevan el crecimiento de las plantas y sirvan como probióticos (Nagórska, et al., 2007).

Se han dedicado considerables esfuerzos hacia el estudio y desarrollo de nuevas alternativas de control y alteración de su metabolismo, expresión de genes y actividad de proteínas, debido a la gran importancia biotecnológica (Tabla 1) (Cui W, et al., 2018; Gu Y, et al., 2018).

Bacillus, es el género Gram positivo ideal para la producción de biopolímeros microbianos, se han reportado una gran cantidad de cepas productoras, entre ellas *Bacillus cereus* de las que una cepa aislada en Nuevo León, ha reportado rendimientos de 40% de polihidroxicanoatos (PHAs), (Martínez, E. 2021). Los (PHAs) son polímeros biodegradables y biocompatibles

que son acumulados por diversas bacterias en forma de gránulos intracelulares, estos se generan por un comportamiento de almacenaje de fuente de carbono, ante un estrés ambiental. Dichos biopolímeros son utilizados en la industria principalmente como material de empaque y aditamentos biomédicos, además han sido considerados como los biomateriales del futuro. Los PHA pueden ser observados con una tinción Azul de Nilo por microscopía óptica de fluorescencia de color naranja-rojo (Fig. 3).

ÁMBITO AGRÍCOLA

Las bacterias del género *Bacillus*, cuando se aplican en la agricultura pueden aportar todo tipo de beneficios a las plantas, incluyendo el fortalecimiento de la resistencia a las enfermedades causadas por microorganismos fitopatógenos (Lopes, et al., 2018) además de que diversas especies secretan algunas enzimas solubilizadoras de nutrientes que promueven el rápido crecimiento de las plantas (Radhakrishnan, et al., 2017).

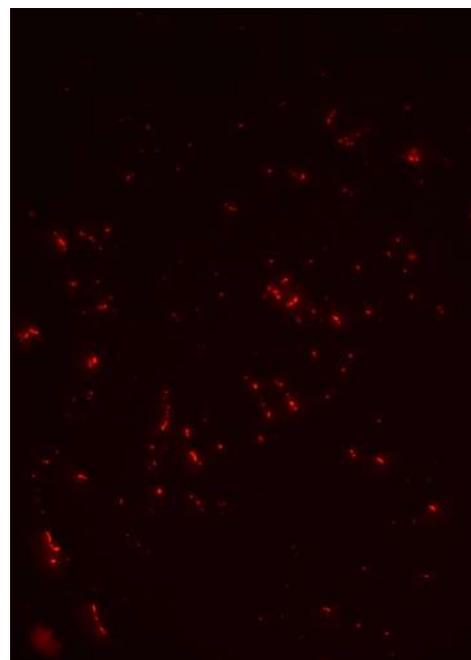


Fig. 3 Tinción Azul de Nilo de una cepa de *Bacillus* productora de PHA, observada en microscopio de Fluorescencia en 100x.

Tabla 1. Principales usos biotecnológicos e industriales de Bacillus

Uso biotecnológico/Industrial	Cepa utilizada	Referencia
Biopesticida	<i>B. subtilis</i> PY79	(Rostami A, et al., 2017)
Biorremediación	<i>B. subtilis</i> DB104	(Wang F, et al., 2019)
Liberación de fármacos	<i>B. coagulans</i>	(Yin L, et al., 2018)
Producción de biopolímeros	<i>B. cereus</i> 4N <i>B. megaterium</i> ATCC14945	(Martínez-Herrera, R. E, et al., 2020) (Vu, D. H., et al., 2021)
Producción de Nattoquinasa	<i>B. amyloliquefaciens</i> DC-4	(Yuan, L, et al., 2022)
Adsorción de metales	<i>B. megaterium</i> QM B1551	(Xu Zhou, et al., 2018)
Agentes anticancerígenos	<i>B. thuringiensis</i>	(Santos, E. N, et al., 2021)
Probióticos	<i>B. licheniformis</i> <i>B. clausii</i>	(Jeżewska-Frąckowiak, J., et al., 2018) (Ianiro, G., et al., 2018)
Peptidos antimicrobianos	<i>B. amiloliquefaciens</i> WH1	(Qi, G., et al., 2010)

Los estudios realizados sobre el papel que ejerce *Bacillus* en compuestos antimicrobianos, empleados para el control biológico de enfermedades a nivel in vivo, permiten concluir que efectivamente cumplen un papel importante para el biocontrol de agentes fitopatógenos. La acción de estos compuestos está relacionada con la formación de poros en pared y membrana celular de microorganismos fitopatógenos, lo que conduce a la inhibición de su crecimiento y de manera indirecta en la inducción de las defensas de la planta (Ongena y Jaques, 2008; Shafi et al., 2017).

Algunos de los metabolitos producidos por *Bacillus* son la surfactina, fengicina y bacilomicinas, conocidos por ser biosurfactantes activos de membrana con potentes actividades antimicrobianas (Ariza & Sánchez, 2012). Además, se ha reportado que *B. megaterium* es reconocida por producir penicilina amidasa, utilizada para fabricar penicilina sintética. La utilidad de *B. velezensis* consiste en la producción de antibióticos para inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos, por su parte *B. subtilis* también ha sido reconocida por sintetizar antibióticos con potencial antagónica de hongos fitopatógenos (Elmaghraby, et al., 2015) (Lim, et al., 2017) (Rodríguez et al., 2017).

La capacidad de este microorganismo para producir compuestos orgánicos, realizar fijación biológica de nitrógeno y solubilizar fosfatos, permite que se produzca un efecto positivo en el potencial productivo en la Agricultura (Corrales, et al., 2014).

Adicionalmente, esta bacteria está siendo reconocida como una alternativa para disminuir el uso de plaguicidas y productos químicos, ya que actúa en contra de microorganismos fitopatógenos que amenazan la producción de alimentos (Ruiz-Sánchez et al., 2014).

POTENCIAL FARMACÉUTICO

Por otro lado, en el ámbito farmacéutico, la FDA ha clasificado a *Bacillus subtilis* como un organismo reconocido como seguro para producir biofármacos (Olmos, J, et al., 2020). De tal manera que este género bacteriano ha sido ampliamente utilizado por destacar en diversos ámbitos de importancia biotecnológica.

Diversas cepas de este género, son capaces de producir enzimas, un ejemplo de ellas es la nattoquinasa, que es un tipo de serina proteasa alcalina con fuerte actividad fibrinolítica y trombolítica. En comparación a los fármacos tradicionales, la nattoquinasa tiene un riesgo menor de hemorragia, una dosis tolerable mayor, y carece de efectos secundarios como la mutación genética (Guo, et al., 2019; Wu, et al., 2019).

Después de décadas de éxito como biopesticida, *Bacillus thuringiensis* también se está estudiando como una herramienta para la salud humana, debido a que es tóxico para los nematodos; y sintetiza parasporinas, que muestran citotoxicidad contra células cancerosas humanas (Hu, et al., 2018).

Además, se ha incrementado el interés científico por este fascinante género año con año, siendo *Bacillus* uno de los géneros bacterianos comunes con más publicaciones científicas en el mundo (Fig. 4).

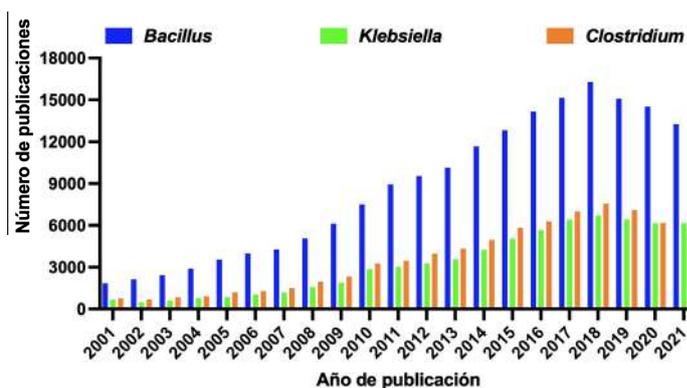


Figura 4. Número de publicaciones científicas de distintos géneros bacterianos comunes (Datos obtenidos de la base de datos de artículos <https://core.ac.uk/> el 19 de Mayo 2023).

INTERÉS ALIMENTARIO

Diversas cepas de este género, producen bacteriocinas, las cuales son proteínas sintetizadas por bacterias que inhiben el crecimiento de bacterias similares. El uso de bacteriocinas producidas por *Bacillus* en la conservación de alimentos resulta interesante debido a que pueden resolver las limitaciones existentes de las bacteriocinas producidas por bacterias ácido lácticas, que son las mayormente utilizadas en este ámbito (Abriouel, et al., 2011).

Por otra parte, se han estudiado diversos residuos de alimentos como fuentes de carbono para la producción de biopolímeros microbianos (PHA), como melaza (residuo de la cristalización del azúcar) y suero de leche, obteniendo rendimientos de 57.5% de PHA (Sharma & Kumar, 2015).

Además, de todo lo conocido de *Bacillus*, sólo unas pocas especies se usan comúnmente como probióticos en humanos y animales, entre ellas *B. coagulans*, *B. clausii*, *B. cereus* y *B. subtilis*. Los probióticos son microorganismos vivos que, tras su ingestión en determinadas cantidades, ejercen beneficios para la salud más allá de la nutrición general, además que modulan la respuesta inmune, producen agentes antimicrobianos y compiten en la adsorción de nutrientes (Abedi D. et al., 2013). Se han realizado ensayos clínicos prospectivos donde se demuestra que *B. clausii* es eficaz y seguro en el tratamiento de la diarrea aguda (Sudha MR. Et al., 2013). Por su parte, en la alimentación del ganado, el uso de probióticos ha aumentado considerablemente, ya que se asocian principalmente con la reducción de enfermedades y la mejora del rendimiento en animales (Fijan, S, 2014).

DISCUSIÓN

Bacillus es un género bacteriano que ha sido ampliamente estudiado en la comunidad científica debido a varias características que lo hacen versátil e interesante. Una de las principales ventajas es que su aislamiento se puede llevar a cabo en casi cualquier hábitat. Destaca en diversos ámbitos, como en la producción de biopolímeros microbianos, ya que diversas especies de este fascinante género, como *B. cereus* han mostrado hasta un 75% de rendimiento de Polihidroxicanoatos (PHA), lo que la reconoce como una de las bacterias híper productoras de bioplásticos (Balakrishna Pillai, A., et al., 2017).

Las bacterias Gram positivas carecen de lipopolisacáridos (LPS), que son moléculas pirógenas causantes de reacciones inflamatorias. El género *Bacillus*, al pertenecer a este grupo de bacterias y al excretar metabolitos y proteínas a un ritmo elevado en el medio de cultivo (Morimoto T, et al., 2008) es un candidato viable a aplicaciones biomédicas como andamios y administración de fármacos, debido a que no causa reacciones adversas como alergias o inflamación, dando una ventaja en contraste con las bacterias Gram negativas (Valappil SP, et al., 2007).

Este género contiene grandes capacidades que lo hacen competentes a otros microorganismos, como en la Biología molecular, que ha sido ampliamente estudiado por sus aspectos estructurales y funcionales, lo que hace que sea más fácil clonar sus genes (Mohapatra, S., et al., 2017).

En el ámbito agrícola, el desarrollo de bioproductos para el control de enfermedades en las plantas, se encaminan a aspectos como la preservación

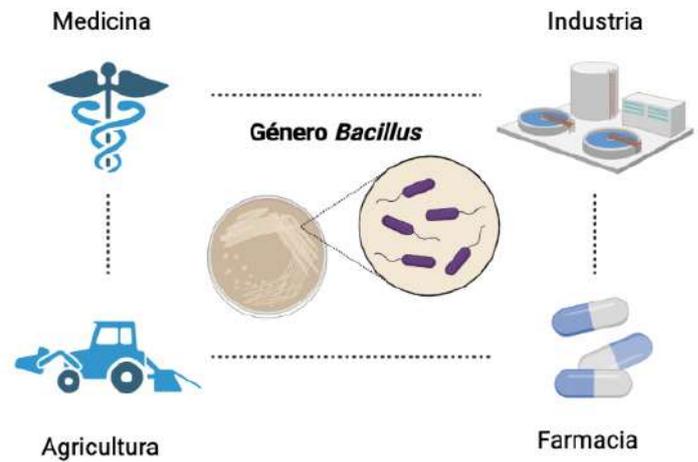


Figura 5. Importancia de *Bacillus* en distintos ámbitos de la vida cotidiana: Generación de péptidos antimicrobianos en la Medicina, Biorremediación en la Agricultura y Material de empaque (PHA) en la industria.

ecológica de la interacción planta-microorganismo, las estrategias de aplicación de los inoculantes, el aislamiento de cepas nuevas y el descubrimiento de mecanismos de acción novedosos (Compant et al., 2005). También enfatiza en el uso de los agentes de biocontrol como parte de los programas de tratamiento integral de enfermedades y de la calidad de los suelos. Todo esto siendo declarados organismos seguros para la salud o el ambiente para su comercialización y uso (Olmos y Paniagua Michel, 2014).

El género *Bacillus* ha recibido la designación de caballo de batalla industrial por estar entre los microorganismos más utilizados para la producción a gran escala de proteínas recombinantes, aminoácidos y productos químicos finos (Westers H, 2003; Straight PD, et al., 2006). No será inapropiado llamarlos "fábrica de células" por el gran potencial que poseen (Zweers JC, 2008).

Además, la capacidad de *Bacillus sp.* de formar esporas es beneficiosa, al permitir el almacenamiento a largo plazo sin pérdida de viabilidad en comparación con aquellas bacterias que no forman esporas. Las esporas pueden sobrevivir al bajo pH de la barrera gástrica y pueden llegar al intestino delgado para ejercer sus propiedades probióticas (Cutting S. M. 2011).

El potencial de este microorganismo sigue siendo fabuloso, debido a que destaca en cualquier ámbito de la investigación científica y aplicación industrial.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado a manera de beca nacional (CVU: 1152042) y al programa PROVERICYT.



LITERATURA CITADA

- Abedi, D., Feizizadeh, S., Akbari, V., & Jafarian-Dehkordi, A. (2013). In vitro anti-bacterial and anti-adherence effects of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* on *Escherichia coli*. *Research in pharmaceutical sciences*, 8(4), 260–268.
- Abriouel H, Franz CM, Ben Omar N, Gálvez A. (2011). Diversity and applications of *Bacillus* bacteriocins. *FEMS Microbiol Rev*. 2011 Jan;35(1):201-32. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2010.00244.x>
- Ariza, Yesid y Sánchez, Ligia. (2012). Determinación de metabolitos secundarios a partir de *Bacillus subtilis* efecto biocontrolador sobre *Fusarium* sp.. *Nova*, 10 (18), 149-155. Recuperado el 14 de septiembre de 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702012000200002&lng=en&tlng=es.
- Balakrishna Pillai, A., Jaya Kumar, A., Thulasi, K., & Kumarapillai, H. (2017). Evaluation of short-chain-length polyhydroxyalkanoate accumulation in *Bacillus aryabhatai*. *Brazilian journal of microbiology*: [publication of the Brazilian Society for Microbiology], 48(3), 451–460. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.01.005>
- CALS, College of Agriculture and Life Sciences. 2016. Bacterial Endospores. Department of Microbiology. Cornell University. Ithaca, Nueva York 14850, EE. UU. <https://micro.cornell.edu/research/epulopiscium/bacterial-endospores>
- Calvo P y Zúñiga D. 2010. Caracterización fisiológica de cepas de *Bacillus* spp. aisladas de la rizósfera de papa (*Solanum tuberosum*). *Ecología Aplicada*. 9:31-39. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172622162010000100004&lng=es&tlng=es.
- Camilleri, E., Korza, G., Green, J., Yuan, J., Li, Y. Q., Caimano, M. J., & Setlow, P. (2019). Properties of Aged Spores of *Bacillus subtilis*. *Journal of bacteriology*, 201(14), e00231-19. <https://doi.org/10.1128/JB.00231-19>
- Cohn F. 1872. Untersuchungen Über Bakterien. *Beitrage zur Biologie Pflanz*. 1:127-1224
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. (2005). Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects. *Appl Environ Microbiol*. 71 (9): 4951-4959. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005>
- Corrales LC, Arévalo ZY, Moreno VE. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *NOVA*. 2014; 12(21):67-79 <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v12n21/v12n21a06.pdf>
- Cui W., Han L., Suo F., Liu Z., Zhou L., Zhou Z (2018). Exploitation of *Bacillus subtilis* as a robust workhorse for production of heterologous proteins and beyond. *W. J. Microbiol. Biotechnol*. 34, 145. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2531-7>
- Cutting S. M. (2011). *Bacillus* probiotics. *Food microbiology*, 28(2), 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.03.007>
- Elmaghraby, Francesco Carimi, A. Sharaf, E.M. Marei and A.M.M. Hammad, 2015. Isolation and Identification of *Bacillus megaterium* Bacteriophages via AFLP Technique. *Current Research in Bacteriology*, 8: 77-89.
- Fijan S. (2014). Microorganisms with claimed probiotic properties: an overview of recent literature. *International journal of environmental research and public health*, 11(5), 4745–4767. <https://doi.org/10.3390/ijerph110504745>
- Folmsbee, M. J., McInerney, M. J., & Nagle, D. P. (2004). Anaerobic growth of *Bacillus mojavensis* and *Bacillus subtilis* requires deoxyribonucleosides or DNA. *Applied and environmental microbiology*, 70(9), 5252–5257. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.9.5252-5257.2004>
- Gu, Y., Xu, X., Wu, Y., Niu, T., Liu, Y., Li, J., Du, G., & Liu, L. (2018). Advances and prospects of *Bacillus subtilis* cellular factories: From rational design to industrial applications. *Metabolic engineering*, 50, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2018.05.006>
- Guo, H., Ban, YH., Cha, Y. et al. Comparative anti-thrombotic activity and haemorrhagic adverse effect of nattokinase and tissue-type plasminogen activator. *Food Sci Biotechnol* 28, 1535–1542 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00580-1>
- Hu, Y., Miller, M., Zhang, B., Nguyen, T. T., Nielsen, M. K., & Aroian, R. V. (2018). In vivo and in vitro studies of Cry5B and nicotinic acetylcholine receptor agonist anthelmintics reveal a powerful and unique combination therapy against intestinal nematode parasites. *PLoS neglected tropical diseases*, 12(5), e0006506. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006506>
- Jezewska-Frackowiak, J., Seroczynska, K., Banaszczyk, J., Jedrzejczak, G., Zylicz-Stachula, A. and Skowron, P.M. (2018) The Promises and Risks of Probiotic *Bacillus* Species. *Acta Biochimica Polonica*, 65, 509-519. https://doi.org/10.18388/abp.2018_2652
- Kunst, F., Ogasawara, N., Moszer, I., Albertini, A. M., Alloni, G., Azevedo, V., Bertero, M. G., Bessières, P., Bolotin, A., Borchert, S., Borriss, R., Boursier, L., Brans, A., Braun, M., Brignell, S. C., Bron, S., Brouillet, S., Bruschi, C. V., Caldwell, B., Capuano, V., ... Danchin, A. (1997). The complete genome sequence of the gram-positive bacterium *Bacillus subtilis*. *Nature*, 390(6657), 249–256. <https://doi.org/10.1038/36786>

- Layton C, Maldonado E, Monroy L, Corrales LC y Sánchez LC. (2011). *Bacillus* spp.; perspectiva de su efecto biocontrolador mediante antibiosis en cultivos afectados por fitopatógenos. *Revista NOVA Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*. 9:177-187. DOI: <https://doi.org/10.22490/24629448.501>
- Lim, S. M., Yoon, M. Y., Choi, G. J., Choi, Y. H., Jang, K. S., Shin, T. S., & Kim, J. C. (2017). Diffusible and volatile antifungal compounds produced by an antagonistic *Bacillus velezensis* G341 against various phytopathogenic fungi. *The plant pathology journal*, 33(5), 488–498. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.04.2017.0073>
- Lopes, R., Tsui, S., Gonçalves, P. J. R. O., & de Queiroz, M. V. (2018). A look into a multifunctional toolbox: endophytic *Bacillus* species provide broad and underexploited benefits for plants. *World journal of microbiology & biotechnology*, 34(7), 94. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2479-7>
- Martínez-Herrera, R. E., Alemán-Huerta, M. E., Almaguer-Cantú, V., Rosas-Flores, W., Martínez-Gómez, V. J., Quintero-Zapata, I., Rivera, G., & Rutiaga-Quiñones, O. M. (2020). Efficient recovery of thermostable polyhydroxybutyrate (PHB) by a rapid and solvent-free extraction protocol assisted by ultrasound. *International journal of biological macromolecules*, 164, 771–782. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.101>
- Martínez Herrera, Raúl Enrique (2021). Estudio y optimización del rendimiento de producción de biopolímeros bacterianos de tipo Poli(3-hidroxibutirato). Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/21035/>
- Martínez-Herrera, R. E. (2018). Aislamiento y estudio de una cepa bacteriana productora de polímeros biodegradables del tipo polihidroxialcanoatos (PHAs). *Revista de Ciencias Farmacéuticas y Biomedicina* (ISSN: 2448-8380), 23-23.
- Maughan H and van der Auwera G. (2011). *Bacillus* taxonomy in the genomic era finds phenotypes to be essential though often misleading. *Infection, Genetics and Evolution*. 11:789-797. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2011.02.001>
- Miljaković, D., Marinković, J., & Balešević-Tubić, S. (2020). The Significance of *Bacillus* spp. in Disease Suppression and Growth Promotion of Field and Vegetable Crops. *Microorganisms*, 8(7), 1037. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071037>
- Mohapatra, S., Maity, S., Dash, H. R., Das, S., Pattnaik, S., Rath, C. C., & Samantaray, D. (2017). *Bacillus* and biopolymer: Prospects and challenges. *Biochemistry and biophysics reports*, 12, 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.10.001>
- Morimoto T, Kadoya R, Endo K, Tohata M, Sawada K, Liu S, Ozawa T, Kodama T, Kakeshita H, Kageyama Y, Manabe K, Kanaya S, Ara K, Ozaki K, Ogasawara N (2008). Productividad de proteína recombinante mejorada por Reducción del genoma en *Bacillus subtilis*. *Res. de ADN* 2008; 15 :73–81
- Nagórska, K., Bikowski, M., & Obuchowski, M. (2007). Multicellular behaviour and production of a wide variety of toxic substances support usage of *Bacillus subtilis* as a powerful biocontrol agent. *Acta biochimica Polonica*, 54(3), 495–508.
- Olmos, J., Acosta, M., Mendoza, G., & Pitones, V. (2020). *Bacillus subtilis*, an ideal probiotic bacterium to shrimp and fish aquaculture that increase feed digestibility, prevent microbial diseases, and avoid water pollution. *Archives of microbiology*, 202(3), 427–435. <https://doi.org/10.1007/s00203-019-01757-2>
- Olmos J, Paniagua-Michel J. (2014). *Bacillus subtilis* A potential probiotic bacterium to formulated functional feeds for aquaculture. *J Microb Biochem Technol*. 2014;6:361- 365. <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000169>
- Ongena M, Jacques P. (2008). *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. *Trends Microbiol*. 2008;16(3):115-125. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2007.12.009>
- Qi, G., Zhu, F., Du, P., Yang, X., Qiu, D., Yu, Z., Chen, J., & Zhao, X. (2010). Lipopeptide induces apoptosis in fungal cells by a mitochondria-dependent pathway. *Peptides*, 31(11), 1978–1986. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2010.08.003>
- Pérez-García A, Romero D and de Vicente A. (2011). Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of Bacilli in agriculture. *Current Opinion in Biotechnology*. 22:187-193. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2010.12.003>
- Radhakrishnan, R., Hashem, A., & Abd Allah, E. F. (2017). *Bacillus*: A Biological Tool for Crop Improvement through Bio-Molecular Changes in Adverse Environments. *Frontiers in physiology*, 8, 667. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00667>
- Rodríguez, L. L., Cruz-Martín, M., Acosta-Suárez, M., Pichardo, T., BermúdezCaraballoso, I., & Alvarado-Capó, Y. (2017). Antagonismo in vitro de cepas de *Bacillus* spp. frente a *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense. *Biocología Vegetal*, 17(4).
- Rostami, A., Hinc, K., Goshadrou, F., Shali, A., Bayat, M., Hassanzadeh, M., Amanlou, M., Eslahi, N., & Ahmadian, G. (2017). Display of *B. pumilus* chitinase on the surface of *B. subtilis* spore as a potential biopesticide. *Pesticide biochemistry and physiology*, 140, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.05.008>
- Ruiz-Sánchez, E., Mejía-Bautista, M., Cristóbal-Alejo, J., Valencia-Botín, A., & Reyes-Ramírez, A. (2014). Actividad antagónica de filtrados de *Bacillus subtilis* contra *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.). *Rev. Mex. Cienc. Agríc*. 5 (7): 1325-1332. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263131533015.pdf>
- Santos, E. N., Menezes, L. P., Dolabella, S. S., Santini, A., Severino, P., Capasso, R., Zielinska, A., Souto, E. B., & Jain, S. (2022). *Bacillus thuringiensis*: From biopesticides to anticancer agents. *Biochimie*, 192, 83–90. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2021.10.003>
- Shafi J, Tian H, Ji M. (2017). *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. *Biotechnol Biotechnol Equip*. 2017;31(3):446-459. <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1286950>
- Sharma P. & Kumar B. (2015). Production and characterization of poly-3-hydroxybutyrate from *Bacillus cereus* PS 10, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 81, 2015, Pages 241-248. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.008>
- Straight, P. D., Willey, J. M., & Kolter, R. (2006). Interactions between *Streptomyces coelicolor* and *Bacillus subtilis*: Role of surfactants in raising aerial structures. *Journal of bacteriology*, 188(13), 4918–4925. <https://doi.org/10.1128/JB.00162-06>
- Sudha MR, Bhonagiri S., Kumar MA (2013) Efficacy of *Bacillus clausii* strain UBBC-07 in the treatment of patients suffering from acute diarrhoea. *Beneficial microbes*. 2013; 4 :211–216. <https://doi.org/10.3920/BM2012.0034>
- Tejera-Hernández B, Rojas-Badía MM y Heydrich-Pérez M. (2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 42:131-138. <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181222321004.pdf>
- Valappil, S. P., Misra, S. K., Boccaccini, A. R., Keshavarz, T., Bucke, C., & Roy, I. (2007). Large-scale production and efficient recovery of PHB with desirable material properties, from the newly characterised *Bacillus cereus* SPV. *Journal of biotechnology*, 132(3), 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2007.03.013>
- Vickers P. (2012). Antibiotic compounds from *Bacillus*: Why are they so Amazing? (2012). *Am J Biochem Biochnol*. 2012;8(1):38-43. Fickers P. (2012). Antibiotic compounds from *Bacillus*: Why are they so Amazing? (2012). *Am J Biochem Biochnol*. 2012;8(1):38-43. <https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2012.38.43>
- Villarreal-Delgado, María Fernanda, Villa-Rodríguez, Eber Daniel, Cira-Chávez, Luis Alberto, Estrada-Alvarado, María Isabel, Parra-Cota, Fannie Isela, & Santos-Villalobos, Sergio de los. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 36 (1), 95-130. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>

- Vu, D. H., Wainaina, S., Taherzadeh, M. J., Åkesson, D., & Ferreira, J. A. (2021). Production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) by *Bacillus megaterium* using food waste acidogenic fermentation-derived volatile fatty acids. *Bioengineered*, 12(1), 2480–2498. <https://doi.org/10.1080/21655979.2021.1935524>
- Wang, F., Song, T., Jiang, H., Pei, C., Huang, Q., & Xi, H. (2019). *Bacillus subtilis* Spore Surface Display of Haloalkane Dehalogenase DhaA. *Current microbiology*, 76(10), 1161–1167. <https://doi.org/10.1007/s00284-019-01723-7>
- Westers H, Dorenbos R, van Dijk JM, Kabel J, Flanagan T, Devine KM, Jude F, Seror SJ, Beekman AC, Darmon E, Eschevins C, de Jong A, Bron S, Kuipers OP, Albertini AM, Antelmann H, Hecker M, Zamboni N, Sauer U, Bruand C, Ehrlich DS, Alonso JC, Salas M, Quax WJ. (2003). Genome Engineering Reveals Large Dispensable Regions in *Bacillus subtilis*. *Molecular Biology and Evolution*, Volume 20, Issue 12, December 2003, Pages 2076–2090 <https://doi.org/10.1093/molbev/msg219>
- Wu, H., Wang, H., Xu, F., Chen, J., Duan, L., & Zhang, F. (2019). Acute toxicity and genotoxicity evaluations of Nattokinase, a promising agent for cardiovascular diseases prevention. *Regulatory toxicology and pharmacology : RTP*, 103, 205–209. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.02.006>
- Yin L, Meng Z, Zhang Y, Hu K, Chen W, Han K, Wu BY, You R, Li CH, Jin Y, Guan YQ. 2018. *Bacillus* spore-based oral carriers loading curcumin for the therapy of colon cancer. *J Control Release* 271:31–44. doi: 10.1016/j.jconrel.2017.12.013.
- Yuan, L., Liangqi, C., Xiyu, T., & Jinyao, L. (2022). Biotechnology, Bioengineering and Applications of *Bacillus* Nattokinase. *Biomolecules*, 12(7), 980. <https://doi.org/10.3390/biom12070980>
- Zweers, J.C., Barák, I., Becher, D. et al. (2008). Towards the development of *Bacillus subtilis* as a cell factory for membrane proteins and protein complexes. *Microb Cell Fact* 7, 10 (2008). <https://doi.org/10.1186/1475-2859-7-10>



**Palabras claves:**

COVID-19, SARS-CoV-2, vacuna, pandemia, adenovirus, vector viral

Keywords: COVID-19, SARS-CoV-2, vaccine, pandemic, adenovirus, viral vector

VACUNAS PARA COVID-19 BASADAS EN ADENOVIRUS

EVERARDO GONZÁLEZ-GONZÁLEZ¹, IVÁN DELGADO-ENCISO², MARGARITA DE LA LUZ MARTÍNEZ FIERRO³, REBECCA HODGERS-GONZALEZ⁴, GIACOMO MAGGIOLINO-TUYU⁴, THOMAS JOSEPH HODGERS-FERNANDEZ⁴, IRAM PABLO RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ¹

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural. Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 66455 México. Dr. Everardo González-González (dnarnaprot@gmail.com) ORCID: 0000-0001-6588-5856, Profesor Irám Pablo Rodríguez Sánchez (iramrodriguez@gmail.com) ORCID: 0000-0002-5988-4168.

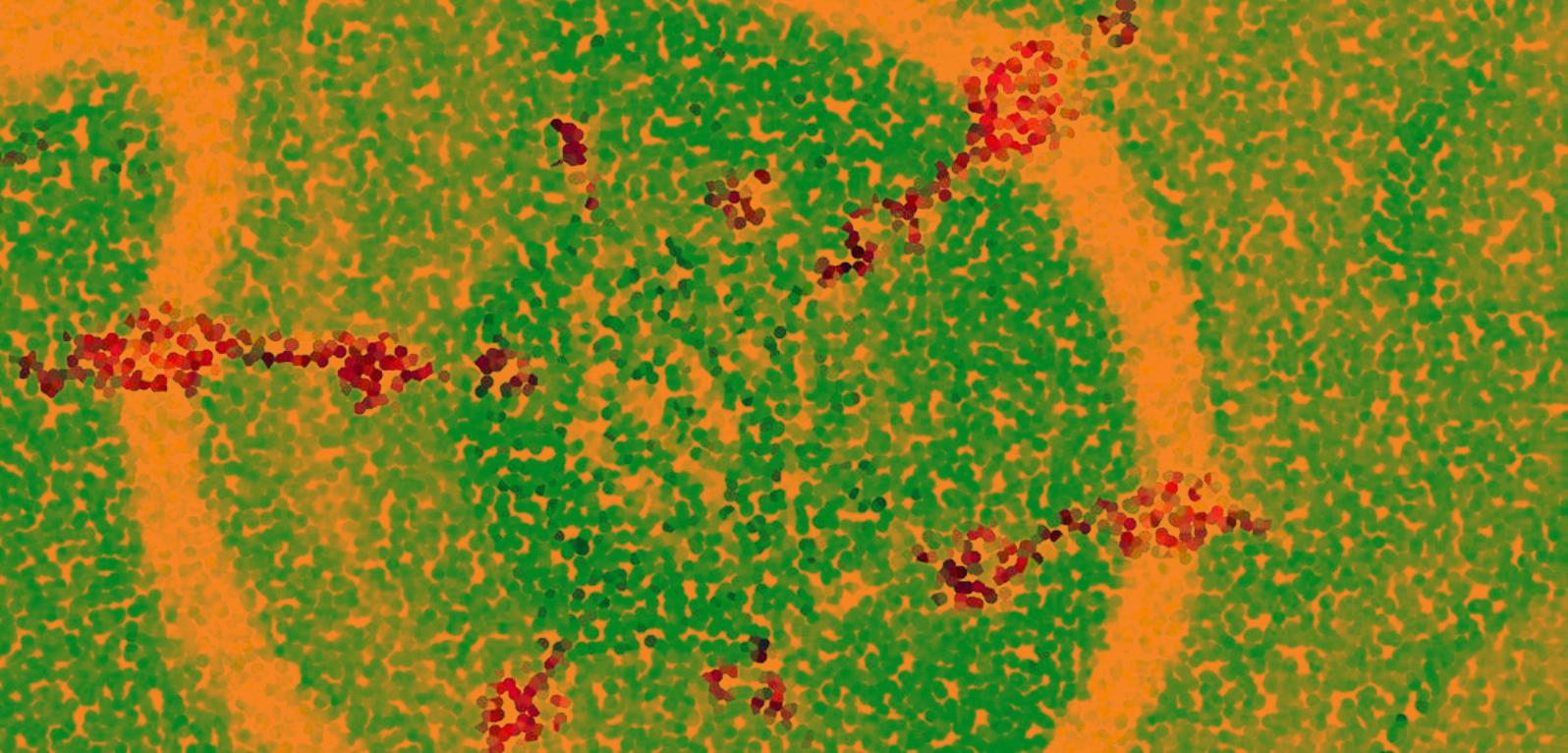
²Facultad de Medicina, Universidad de Colima, Colima, México. Dr. Ivan Delgado-Enciso (ivan_delgado_enciso@ucol.mx) ORCID: 0000-0001-9848-862X.

³Molecular Medicine Laboratory, Academic Unit of Human Medicine and Health Sciences, Autonomous University of Zacatecas, Zacatecas, Mexico. Dra. Margarita de la Luz Martínez-Fierro (margaritamf@uaz.edu.mx) ORCID: 0000-0003-1478-9068.

⁴Alfa Medical Center, Laboratorio de Biología Molecular, Ave. Benito Juárez #314 pte Col. Centro, Guadalupe, Nuevo León CP 67100. Dr. Thomas Joseph Hodggers Fernandez (thodgers@hotmail.com), ORCID: 0000-0001-9568-8554. Rebecca Hodggers-Fernandez (rebecca.hodgers.gzz@gmail.com), Giacomo Maggiolino-Tuyu (giacomomaggiolino@gmail.com)

Figura 1. Representación del mecanismo de interacción del virus SARS-CoV-2 y los receptores en una célula huésped.



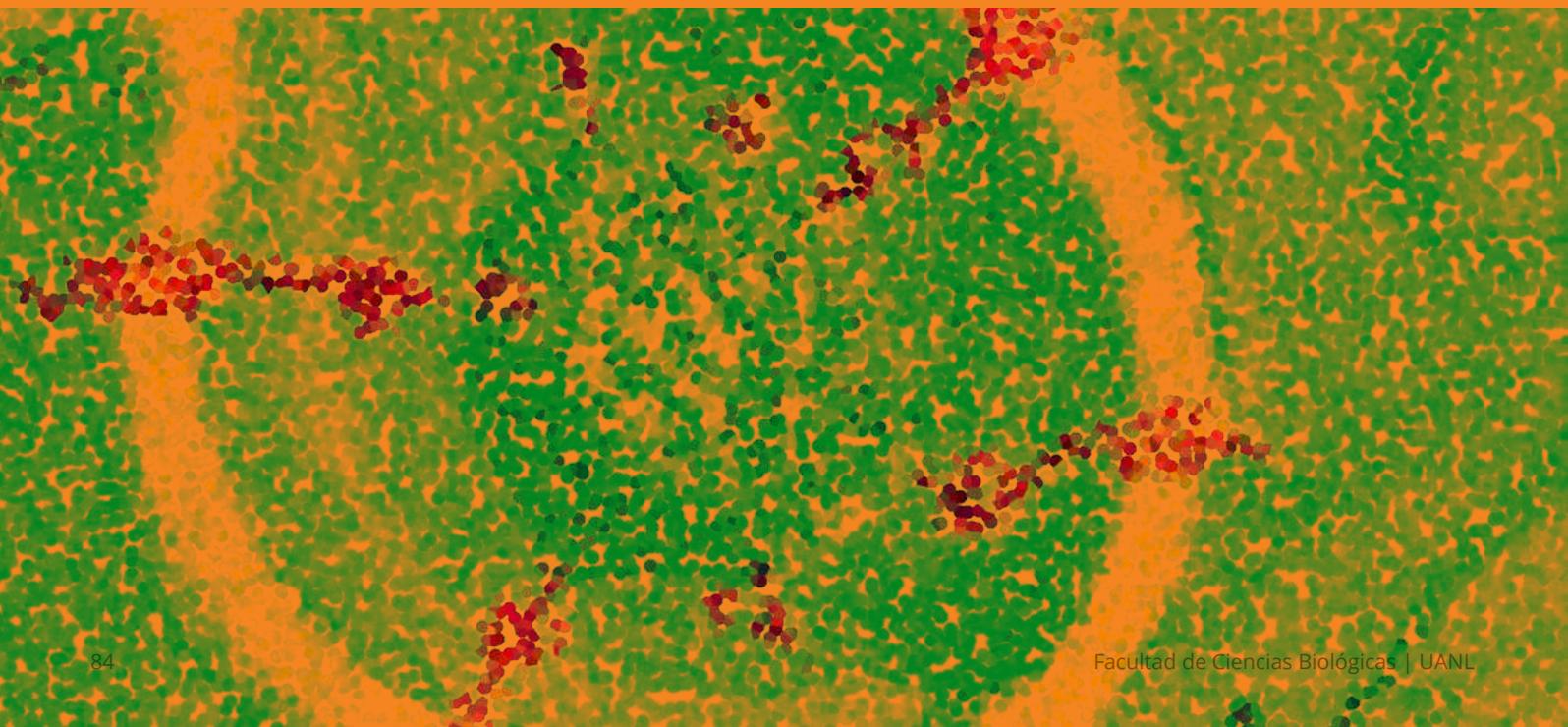


RESUMEN

La pandemia de COVID-19 ha impactado de gran manera al mundo, con consecuencias tanto negativas como positivas. En el aspecto positivo podemos destacar el sobresaliente esfuerzo que se ha realizado por las farmacéuticas, gobiernos y escuelas alrededor del mundo. Esto con la intención de responder de la mejor manera a una emergencia sanitaria con el desarrollo de herramientas para el diagnóstico y el tratamiento de COVID-19. Un ejemplo para mencionar es la creación de vacunas en base a vectores virales, vacunas que tienen tiempo en fases de estudio pero que la pandemia ha acelerado su aplicación en humanos. Esta enfermedad ha traído un gran avance en la tecnología de la salud, aplicando los conocimientos de años de la edición genética a agentes como virus para que sean utilizados como vacunas de COVID-19.

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has highly impacted the world, both negatively and positively. On the positive side, we can highlight the outstanding effort that has been made by pharmaceutical companies, governments and schools around the world. This with the intention of responding to this disease with the development of tools for the diagnosis and treatment of COVID-19. An example to mention is the creation of vaccines based on viral vectors, vaccines that have been in the study phase for some time but that the pandemic has accelerated their application in humans. This disease has brought a great advance in health technology, being able to apply the knowledge of years of gene editing to agents such as viruses so that they can be used as vaccines for COVID-19.



INTRODUCCIÓN

Los virus son organismos dependientes de células huésped para poder replicarse. En el caso de los virus que infectan al ser humano pueden provocar enfermedades letales como ha sido el COVID-19, provocado por el virus SARS-CoV-2. El COVID-19 ha registrado más de 500 millones de casos de infección, con más de 6 millones de fallecimientos. El SARS-CoV-2 pertenece a la familia de los Coronavirus, los cuales normalmente son asociados a provocar complicaciones principalmente respiratorias, además de tener la capacidad de infectar a varias especies, por tal motivo es de gran relevancia para la salud mundial atender este tipo de problemáticas (Figura 1).

Durante la pandemia de COVID-19, se evaluaron una variedad de estrategias para hacer frente a la crisis sanitaria. Por ejemplo, se desarrollaron vacunas utilizando virus inactivados, proteínas, vectores virales y ácidos nucleicos (Francis et al., 2022).

El proceso típico de una vacuna es de varios años comprendido por las etapas como diseño, desarrollo, aprobación y finalmente su aplicación a personas. Teniendo la situación de emergencia de COVID-19: una pandemia con alta transmisión y mortalidad, confinamiento y distanciamiento social por meses, además de contar con avances científicos y tecnológicos. Por tal motivo, múltiples laboratorios estuvieron trabajando en la aceleración de estos procesos requeridos para que las autoridades responsables evaluaran y analizarán la aprobación de las vacunas teniendo en cuenta que no había un tratamiento indicado para el COVID-19.

En esta pandemia se han utilizado diferentes tipos de vacunas, desde las clásicas donde se emplea el virus responsable de la infección, pero con un tratamiento de atenuación que puede ser química o física para limitar su actividad infectiva, hasta vacunas con tecnología de edición genética donde se inserta solo la información necesaria del virus, pudiendo ser un gen completo o un fragmento de él.

En México se utilizaron diferentes tipos de vacunas, generando por todo el país campañas de vacunación, y estas incluían vacunas principalmente con tecnología de virus modificados y de RNA mensajero. Teniendo en cuenta que hay otras tecnologías emergentes en vacunas como la de administración de proteínas recombinantes, pero estas tienen la desventaja de tener un mayor costo, por lo cual ha sido una de las razones para que no se distribuyeran ampliamente.

En el caso de las vacunas basadas en vectores virales, en la actualidad a nivel mundial se cuentan con al menos 7 vacunas, las cuales 2 han sido diseñadas para el virus del Ébola y 5 para combatir el SARS-CoV-2. Este tipo de vacunas aprovechan las propiedades naturales de los virus, seleccionando aquellos virus que no representen un potencial peligro para los seres humanos, dentro de estos virus para el desarrollo de vacunas se encuentran los adenovirus, adeno-asociados, retrovirus y lentivirus

(Sharma y Worgall, 2016). Estos virus son capaces de ser manipulados genéticamente agregando una parte de un gen del virus SARS-CoV-2, y así desarrollar una protección contra el SARS-CoV-2. Sin embargo, dado que solo se utiliza un fragmento del virus, no existen riesgos de contraer COVID-19 como resultado de esta manipulación genética, en la figura 2 se esquematiza el proceso de un virus al entrar a una célula huésped.

LOS ADENOVIRUS COMO HERRAMIENTAS PARA VACUNAS

Para el desarrollo de las vacunas de COVID-19 basadas en vectores virales ha predominado el uso de los adenovirus. Esto debido a las características que presentan. Por ejemplo, son virus compuestos por una capa protectora, su genoma es de ADN de doble cadena, y además de tiene la capacidad de generar una respuesta inmune innata y adaptativa, siendo ventajas para ser utilizados en vacunas.

Las vacunas Sputnik V, la AstraZeneca, la Cansino y la Johnson & Johnson son desarrolladas a partir de adenovirus. El proceso simplificado del desarrollo de una vacuna adenoviral para COVID-19, se basa en introducir el gen que codifica a la proteína Spike perteneciente del SARS-CoV-2 al adenovirus, posteriormente el adenovirus modificado (con el gen de SARS-CoV-2) se cultiva en el laboratorio y finalmente por métodos de purificación se obtiene la vacuna.

VACUNA DE JOHNSON & JOHNSON

Desarrollada por la farmacéutica Janssen en conjunto con el Centro Médico Beth Israel Deaconess. En Estados Unidos fue aprobada el 28 de febrero del 2021, posteriormente en junio del mismo año 41 países continuaron con la aprobación de la vacuna. El esquema de esta vacuna es de una sola dosis, se administra intramuscular y se ha reportado un 85% de eficiencia. Los efectos secundarios mayor reportados son dolor, enrojecimiento e inflamación en el sitio de la inyección, otros efectos secundarios menos frecuentes son dolor de cabeza, fatiga, náusea y fiebre (Shelf et al. 2021).

VACUNA DE ASTRAZENECA

Creada por la Universidad de Oxford, el Instituto Jenner y AstraZeneca. Esta vacuna se diferencia de otras por que utilizan un adenovirus de chimpancé. Esto con el propósito de disminuir la probabilidad de que exista una resistencia por un contacto previo con este virus. Se reporta que presenta un 81.5% de eficacia, la administración es intramuscular y el esquema está comprendido por 2 dosis, y entre la primera y segunda dosis debe de ser al menos de 12 días. En junio del 2021 se encontraba aprobada esta vacuna en 99 países. Al igual que otras vacunas los efectos secundarios más comunes reportados son dolor en el sitio de inyección, sensibilidad, inflamación, náusea y vómito, dolor de cabeza y músculos (Knoll y Wonodi, 2021).

VACUNA DE CANSINO

Producida por CanSino Biologics, la administración de esta vacuna también es intramuscular. El esquema de vacunación está compuesto por 2 dosis, con reportes de hasta un 90% de protección. Los efectos secundarios más registrados son fiebre, fatiga, dolor de cabeza y músculos, además de dolor en el sitio de la inyección (Muñoz-Valle *et al.* 2022).

VACUNA SPUTNIK V

Desarrollada por Instituto de Investigación de Epidemiología y Microbiología Gamaleya, ubicado en Moscú, Rusia. El nombre de la vacuna es por la conmemoración al primer satélite artificial. Esta vacuna está compuesta por dos adenovirus en dos formulaciones que son administradas en 2 dosis con un intervalo de 3 semanas a 3 meses entre la primera y segunda dosis. La eficacia reportada de la vacuna es del 97.6%, y ha sido aprobada por 68 países. Algunos de los efectos secundarios más comunes son escalofríos, dolor de cabeza, músculos y articulaciones (Ikegame *et al.* 2021).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen enormemente el trabajo artístico del Dr. Víctor Hugo Cervantes-Kardasch (vkardasch@ucol.mx) de la Facultad de Medicina, Universidad de Colima.

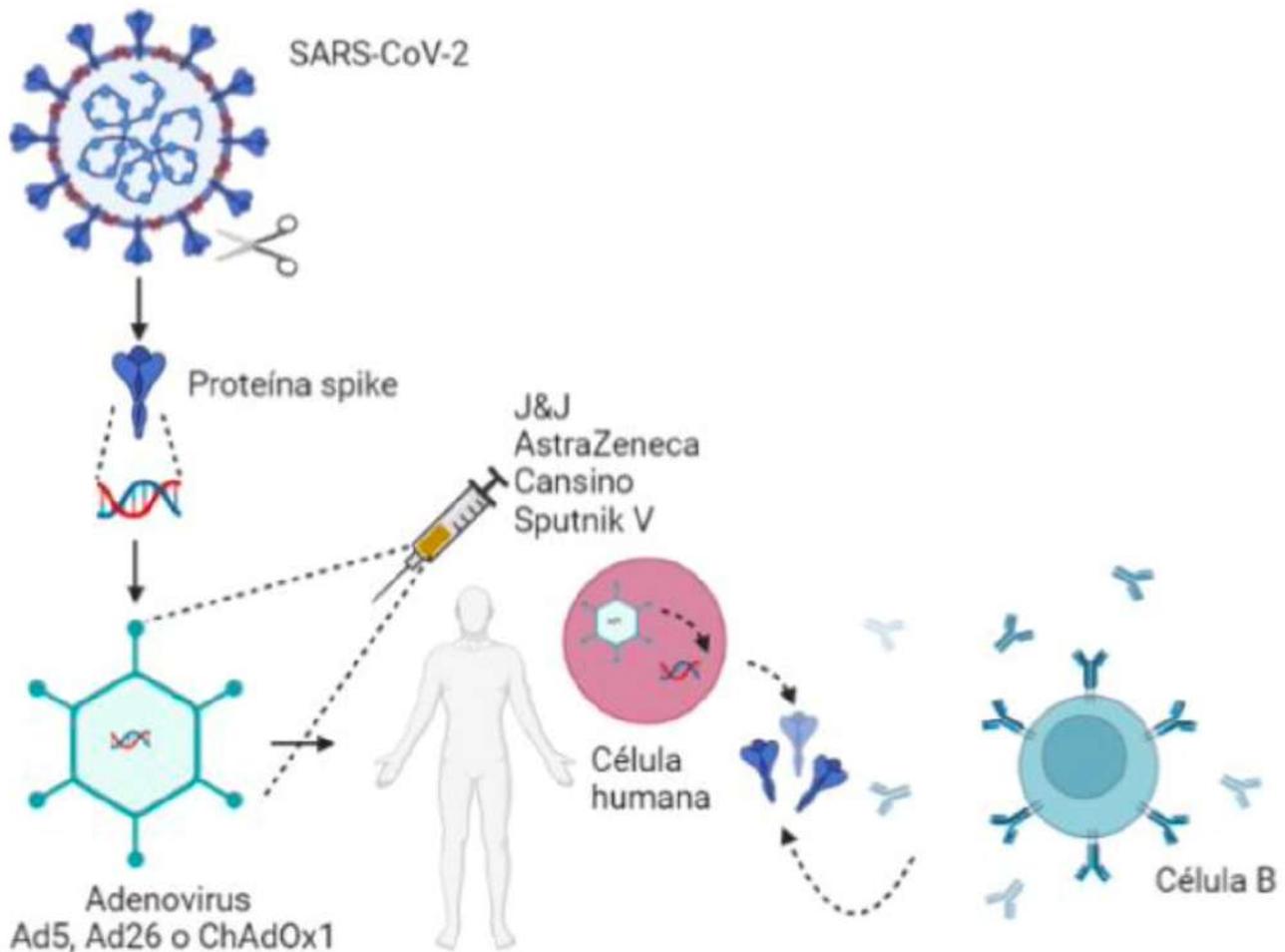


Figura 2: Modo de acción de una vacuna de vector viral de adenovirus contra SARS-CoV-2



LITERATURA CITADA

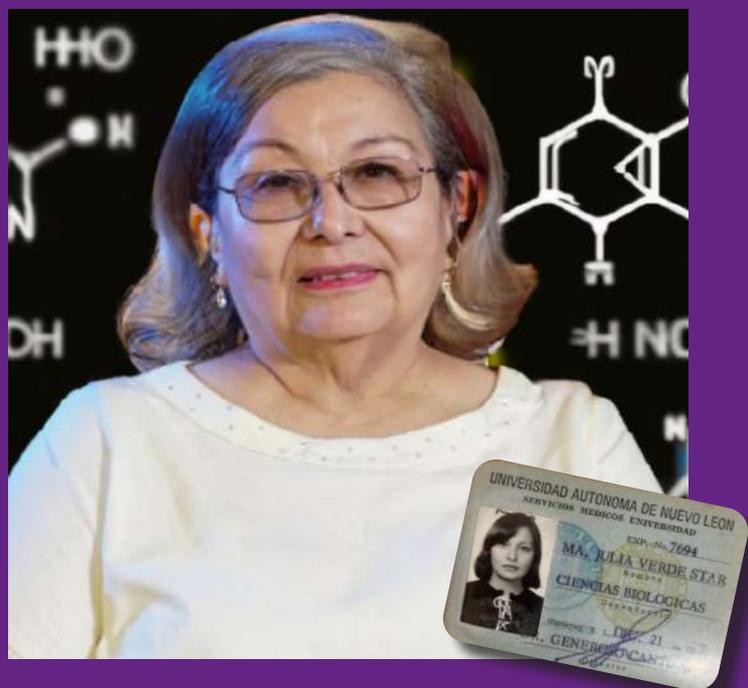
- Francis AI, Ghany S, Gilkes T y Umakanthan S. 2022. Review of COVID-19 vaccine subtypes, efficacy and geographical distributions. *Postgrad Med J*. 98(1159):389–94.
- Ikegame S, Siddiquey MNA, Hung CT, Haas G, Brambilla L, Ogun-tuyo KY. 2021. Neutralizing activity of Sputnik V vaccine sera against SARS-CoV-2 variants. *Nature Communications*. 12(1):1–11.
- Knoll MD y Wonodi C. 2021. Oxford–AstraZeneca COVID-19 vaccine efficacy. *The Lancet*. 397(10269):72–4.
- Muñoz-Valle JF, Sánchez-Zuno GA, Matuz-Flores MG, Hernández-Ramírez CO, Díaz-Pérez SA, Baños-Hernández CJ. 2022 Efficacy and Safety of Heterologous Booster Vaccination after Ad5-nCoV (CanSino Biologics) Vaccine: A Preliminary Descriptive Study. *Vaccines*. 10(3):400.
- Sharma A y Worgall S. 2016. Adenoviral Vectors Vaccine: Capsid Incorporation of Antigen. *Adenoviral Vectors for Gene Therapy: Second Edition*. 6:571–90.
- Self WH, Tenforde MW, Rhoads JP, Gaglani M, Ginde AA, Douin DJ. 2021. Comparative Effectiveness of Moderna, Pfizer-BioNTech, and Janssen (Johnson & Johnson) Vaccines in Preventing COVID-19 Hospitalizations Among Adults Without Immunocompromising Conditions — United States. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 70(38):1337.



DRA. MARÍA JULIA VERDE STAR:

UNA VIDA DEDICADA A LA CIENCIA

PROFESOR IRAM PABLO RODRÍGUEZ SÁNCHEZ¹



La Dra. María Julia Verde-Star es una destacada investigadora de México con reconocimiento a nivel internacional, especialmente en el campo de la fitoquímica. Nacida en Monterrey, Nuevo León en 1949, desde temprana edad mostró un fuerte interés por la ciencia, incursionando por primera vez durante el estudio de su licenciatura en Ciencias Químicas en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) en 1971. Posteriormente y continuando con su educación concreto una maestría en Química Orgánica también en el ITESM en 1975, seguida de un doctorado en Química en la misma institución educativa en 1987. Tras concluir su doctorado se incorporó como profesora-investigadora a la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), donde ha desempeñado un papel medular en la investigación y pilar en la creación del primer posgrado ofertado por dicha institución.

Después de toda una vida como docente al servicio de la UANL la Dra. Verde-Star ha iniciado el proceso de jubilación por lo que a un servidor le pareció pertinente realizarle una pequeña entrevista como un reconocimiento a toda una vida dedicada a las ciencias y la docencia.

La charla comenzó de una manera bastante amena pues el primer comentario fue “deje sus anotaciones de lado y apague su celular, prefiero que esta sea una plática informal”, y así fue como dimos inicio.

La primera de mis preguntas fue que, si íbamos a hablar de todo, a lo que me respondió “usted pregúnteme lo que quiera, no tengo tapujos en hablar de ningún tema”, y después de algunas risas esto ocasionó que un servidor se relajara más.

Posteriormente irrumpió en la charla y comento la Dra. Verde-Star “no pierda tiempo preguntándome lo que ya está en internet” seguido de ofrecerme amablemente un chocolate, lo que relajo aún más el ambiente.

Comencé preguntando sobre su niñez y fue cunado comento y recalco sus genuinos intereses sobre las ciencias, la pregunta seguida por parte mía tenía que ser “era fácil decidir su futuro laboral y de vida en su casa”, la Dra. respondió que para ella si pues dejo claro que, siendo la menor de 3 hermanos y única mujer era la consentida tanto por su papá como por su mamá.

Me platico que en 1969 año en el que ella inicio sus estudios de licenciatura no era estudiar química una de las opciones más populares entre sus compañeras y amigas, pero como hija de un padre dedicado de forma profesional al oficio de guía de turistas que continuamente lo mantenía en contacto con personalidades de todas las nacionalidades y de estratos económicos muy altos le proporcionaba una perspectiva más cosmopolita.

La investigación de la Dra. Verde-Star se ha centrado en el aislamiento e identificación de nuevas moléculas activas extraídas de plantas y organismos marinos. Sus contribuciones han sido cruciales en el descubrimiento de novedosos fármacos, antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos y antivirales, todos productos naturales con amplias aplicaciones en distintas industrias como la alimentaria, cosmética y farmacéutica.

Menciono que durante el desarrollo de su maestría decidió casarse por lo que la vida le cambió radicalmente, pues además de incursionar en el rol de madre también como profesionista seguía activa atendiendo diariamente su trabajo que se encontraba en la ciudad de Saltillo Coahuila, ciudad a donde se transportaba diariamente desde el municipio de San Nicolás de las Garzas, Nuevo León.

Entre los galardones recibidos por la profesora María Julia se destacan la Presea Flama-Vida-Mujer en la categoría de Docencia e Investigación por parte de la UANL en 2015, y la Medalla Don Diego Díaz de Berlanga otorgada por el Municipio de San Nicolás de los Garza, N.L. en la categoría de Docencia en 2018.

¹Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León Ave. Pedro de Alba s/n cruz con Ave. Manuel L. Barragán. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, 66455 México

“LA QUÍMICA DESCRIBE EL ALMA DE LAS MOLÉCULAS”

DRA. MARÍA JULIA VERDE STAR

Después de felicitarla por la serie de premios y distinciones que recordaba haber recibido me comentó “pues no se crea porque como mujer hay que esforzarse el doble para obtener la mitad del reconocimiento”, este mundo está diseñado por hombres y para los hombres.

La Dra. Verde-Star es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) desde 1985 y actualmente nivel 2. Ha supervisado la dirección de 22 tesis de doctorados, 14 de maestrías y 16 de licenciaturas. Su investigación se ha reflejado en más de 110 artículos científicos publicados en revistas de alto impacto indexadas al JCR, obra que ha generado más de 800 citas. A conseguido se le otorguen recursos económicos por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para el desarrollo de dichos proyectos.

Además de sus contribuciones en el ámbito científico, la Dra. Verde-Star ha sido una defensora activa de la educación y la promoción de la ciencia en México desde distintas trincheras como lo es las aulas de la FCB, así

como desde la Junta de Gobierno de la UANL donde del 1997 al 2008 tuvo el honor de presidir, este organismo autónomo es el enlace entre rectoría de la UANL y la oficina del gobernador de NL y la IP.

Referente a este último puesto desempeñado le pregunté si los rectores de la UANL le pedían consejo u opinión a lo que respondió: Algunos, no todos, y si, pero solo cuando me piden el consejo y la opinión, menos no.

La Dra. Verde-Star es un ejemplo de excelencia y liderazgo en la ciencia mexicana, cuyo trabajo ha impulsado el desarrollo científico del país y ha ampliado las perspectivas de la investigación biomédica.

Ya en la parte final de la charla le pregunté que si tenía algún plan para esta nueva etapa ahora como jubilada a lo que contestó: Quiero viajar, quiero retomar mis pasatiempos y quiero volver a frecuentar amigos a los que tengo muchos años sin ver. Me voy a dedicar a enriquecer mi vida espiritual y disfrutar mi tiempo con mi esposo, hijos y nietos.



IN MEMORIAM:

DR. MIGUEL ÁNGEL CRUZ NIETO

(2 de Septiembre de 1962 - 8 de septiembre de 2023)

Conocido como Miguel o Mike por muchos, estuvo estrechamente ligado al manejo de los recursos naturales desde su infancia en Castaños Coahuila, su ciudad natal. Fue en ese lugar donde tuvo su primer contacto con la vida silvestre, aprovechando los conocimientos transmitidos por sus padres y abuelos, adquiriendo destrezas en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales locales. Inicialmente, incursionó en la captura de aves canoras y posteriormente, desarrolló habilidades en la observación del comportamiento de la fauna local, incluyendo especies como el pecarí, el venado cola blanca, entre otros. Estas experiencias tempranas sentaron las bases para su futura decisión de estudiar Ingeniería Forestal en la UAAAN en Saltillo, Coahuila.

Tras completar sus estudios, se trasladó a Monterrey y se unió a la Organización No Gubernamental Ducks Unlimited de México (DUMAC). En esta organización, junto a un equipo de técnicos, fue pionero en la captura, manejo y reintroducción de vida silvestre en el Noreste de México, enfocándose especialmente en especies como el venado cola blanca, el guajolote silvestre y el pecarí de collar. Durante este programa, implementó técnicas innovadoras y utilizó equipamiento novedoso para la captura de estas especies. Posteriormente, en la misma organización, lideró exitosamente varios programas destinados a la recuperación de poblaciones del pato mexicano y la cotorra serrana.

Su destacada labor en DUMAC le abrió las puertas para cursar la Maestría en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), donde profundizó en el estudio de la cotorra serrana a través de su tesis.

Después de completar su maestría, se unió a Pronatura Noreste AC (PNE), desde donde lideró proyectos centrados en la conservación de humedales, monitoreo de poblaciones de aves acuáticas migratorias, estrategias para el uso sostenible del agua, entre otros temas en los que siempre buscó innovar. Además, se destacó como un maestro en la recaudación de fondos, tanto a nivel nacional como internacional, para garantizar la sostenibilidad de los proyectos.

A pesar de dedicar gran parte de su carrera a proyectos de conservación, nunca descuidó su crecimiento académico. Por ello, se embarcó en un Doctorado en Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Esta faceta académica le permitió adentrarse en el mundo de las publicaciones, participando en diversos artículos que difundían los resultados de sus proyectos en el campo.

Los párrafos anteriores ofrecen solo una visión parcial de los logros de Mike a lo largo de sus más de 40 años de carrera profesional. Su legado permanecerá indeleble en cada organización en la que dejó su huella, pero su verdadero impacto perdurará en las personas que tuvieron el privilegio de trabajar con él. Mike fue un líder que creía fervientemente en el potencial de las personas, motivándolas tanto profesional como personalmente. Brindaba oportunidades a quienes incursionaban en el mundo laboral, y muchos estaremos eternamente agradecidos por su generosidad.

Miguel era una persona extraordinariamente abierta. En un viaje en carretera, tenía la capacidad de compartir su vida de manera que generaba un ambiente de confianza. A través de estas conversaciones, no solo nos conocíamos mejor, sino que también surgían ideas para nuevos proyectos, destinos y colaboradores. Su transparencia y carisma atrajeron a una amplia red de compañeros, a quienes él cariñosamente llamaba "compadres", provenientes de diversas áreas. Esta cualidad le ganó el respeto y reconocimiento de aquellos que tuvimos el privilegio de conocerlo.

Su inesperada partida deja un vacío difícil de llenar. Pasarán muchos años antes de que alguien pueda emular lo que Miguel logró en el mundo de la conservación en México. Sin duda, lo extrañaremos, pero nos reconforta saber que dejó una enseñanza valiosa en quienes continuamos en el camino que él ayudó a trazar.

DESCANSA EN PAZ MI MAESTRO Y QUERIDO AMIGO MIKE.

/// JOSÉ ALFREDO ALVAREZ CERDA





SOBRE LOS AUTORES

ALEJANDRO GONZÁLEZ ROJAS. Soy estudiante de la carrera de biología de la Universidad Autónoma de Baja California, cursando el 9no semestre. Mi área de interés principal son las formas de respuesta de los organismos vivos ante el impacto ambiental de origen antropocéntrico, centrado en la contaminación, pérdida de hábitat y cambio climático. Esto abordado desde una perspectiva etológica de las especies y ecológica de las comunidades, con enfoque principal en los organismos intermareales y aves nectívoras. Actualmente me encuentro trabajando con la doctora Alejandra Ramos González en un experimento de comportamiento de forrajeo de coliribries en bebederos artificiales y cumpliendo mi servicio social (con planeación en futuros proyectos) con el doctor Osmar Araujo Leyva en taxonomía de invertebrados de la infauna estuarina, con enfoque especial en poliquetos.

alejandro.gonzalez.rojas@uabc.edu.mx

ANA LAURA LARA RIVERA. Actualmente profesora de tiempo completo de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Bióloga por el Instituto Tecnológico de Altamira. Maestría en biotecnología genómica y Doctorado en ciencias en Biotecnología por el Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional. Formación de recursos humanos y publicaciones científicas en genética poblacional de poblaciones domésticas y silvestres, marcadores moleculares y mejoramiento genético. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2016. Actualmente SIN I.

alarar@uanl.edu.mx

DAVID LAZCANO. Is a herpetologist who earned a bachelor's degree in chemical science in 1980, and a bachelor's degree in biology in 1982. In 1999 he earned a master's degree in wildlife management and later a PhD degree in biological sciences with a specialty in wildlife management (2005), all gained from the Facultad de Ciencias Biológicas of the Universidad Autónoma de Nuevo León (FCB/UANL), Mexico. Currently, has retired from this institution after 42 years of teaching courses in soil sciences, general ecology, herpetology, herpetological ecology, animal behavior, biogeography, biology in English, diversity and biology of chordates, and wildlife management. He had been the head of the Laboratorio de Herpetología from 1993-2022, teaching and providing assistance in both undergraduate and graduate programs. In 2006 he was honored to receive the Joseph Lazlo award for his herpetological trajectory, from the IHS. In October 2017 he was awarded national recognition by the Asociación para la Investigación y Conservación de Anfibios y Reptiles (AICAR), due to his contribution to the study of ecology and conservation of herpetofauna in northeastern Mexico (Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila). He participated in the development of the Program of Action for the Conservation of the Species (PACE) Rattlesnakes (*Crotalus* spp.). His research interests include the study of the herpetofaunal diversity of northeastern Mexico, as well as the ecology, herpetology, biology of the chordates, biogeography, animal behavior,

and population maintenance techniques of montane herps. He had been thesis advisor for many Bachelor's, Master's, and PhD degrees dealing with the study of the herpetofauna of the region as well as nationally. David has published more 270 scientific notes and articles in indexed and general diffusion journals, concerning the herpetofauna of the northeastern portion of Mexico. His students named a species in honor of his work, *Gerrhonotus lazcanoii*. Is still an active herpetologist.

ORCID: 0000-0002-6292-5979
imantodes52@hotmail.com

Diego Patricio Navarro Díaz. Estudiante de la carrera Químico Bacteriólogo Parasitólogo de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL desde Enero 2020. Forma parte del Laboratorio 3 del Instituto de Biotecnología FCB-UANL. Becario en la materia de Microbiología y voluntario en el Instituto de Biotecnología. Realizó verano científico con el proyecto Aislamiento de bacterias para la biosíntesis de bioplásticos tipo PHA, así como participó en el proyecto Estudio de cepas halófilas productoras de PHA.

diego.navarrodz@uanl.edu.mx

ELÍ GARCÍA-PADILLA. Is a biologist and professional photographer, with more than 12 years of experience in the field study and photo-documentation of the biocultural diversity of Mexico. He has published one book and more than 120 formal contributions on knowledge, communication of science, and conservation of Mesoamerican biodiversity. Since 2017, he has invested effort in the exploration of the mythical region of the Los Chimalapas, in the Isthmus of Tehuantepec, which is the most biologically rich in all of Mexico under the social tenure of the land and the community conservation system.

ORCID: 0000-0003-1081-8458.
eligarciapadilla86@gmail.com

ESTELA SAÑUDO AYALA. Es Ingeniera Bioquímica egresada del Instituto Tecnológico de Los Mochis (2003), Maestra con certificado en Estudios para la sostenibilidad y medio ambiente por la UAIM (2023). Trabajo en Grupo GRUMA MASECA (Harinera de Maíz de Jalisco, S.A de C.V.), participando en un Equipo de Control de Higiene y Calidad (2006). Es encargada del Laboratorio de Biotecnología del Programa de Ingeniería Forestal de la Universidad Autónoma Indígena de México a partir octubre de 2012 a la fecha. Profesora de base de Tiempo Completo en la universidad Autónoma Indígena de México desde agosto de 2023 y coordinadora del programa educativo de Ingeniería en Biotecnología desde septiembre del 2023.

EVERARDO GONZÁLEZ-GONZÁLEZ. Maestro y doctor en biotecnología por el ITEMS, miembro del Sistema Nacional de Investigadores 1. Profesor de la FCB de la UANL.

ORCID: 0000-0001-6588-5856.
dnarnaprot@gmail.com

GIACOMO MAGGIOLINO. Estudiante Prepa Tec Campus Santa Catarina, Bachillerato Internacional.

A realizado Summer at Hopkins 2022, Miembro del Gobierno Estudiantil gestión 2023-2024, Grupo Estudiantil Global Leaders 2022-2023.

giacomomaggiolino@gmail.com

GLENDIA BERENICE RAMÍREZ CHARLES. Estudiante de la carrera Químico Bacteriólogo Parasitólogo de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL desde 2020. Integrante del Laboratorio 3 del Instituto de Biotecnología FCB-UANL. Becaria en la materia de Microbiología General y voluntaria en el Instituto de Biotecnología a partir del 2022, en el proyecto Estudio de cepas halófilas productoras de PHA; en el 2019 formó parte de laboratorio de Química Analítica FCB en el proyecto de Efectos antimicrobianos de extractos de plantas y realizó verano científico en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL en el proyecto Cementos activados alcalinamente y en la Facultad de Agronomía de la UANL en el proyecto Residuo de la preparacion de café soluble: Un subproducto con potencial para la extraccion de compuestos bioactivos.

glenda.ramirezch@uanl.edu.mx

GUSTAVO DE JESÚS SAN MIGUEL GONZÁLEZ. Químico Farmacobiólogo por la Universidad Autónoma de Coahuila. Estudiante del Doctorado en Ciencias orientación en Biotecnología en la Universidad Autónoma de Nuevo León. Forma parte del Laboratorio 3 del Instituto de Biotecnología FCB-UANL. Su línea de Investigación es el estudio de biopolímeros microbianos tipo Polihidroxialcanoatos. Autor de un capítulo de libro, ponente de cinco trabajos de investigación en distintos congresos nacionales e internacionales, co-director de dos tesis de licenciatura.

ORCID: 0000-0002-1570-2959
gustavo.sanmiguelg@uanl.edu.mx

IRÁM PABLO RODRÍGUEZ SÁNCHEZ. Doctor en Ciencias, jefe del Laboratorio de Fisiología Molecular y Estructural, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 2.

ORCID: 0000-0002-5988-4168
iramrodriguez@gmail.com

ISRAEL OSUNA-FLORES. Es Biólogo Pesquero egresado de la UAS (1985), Maestro en Ciencias por el CICIMAR-IPN (1991) y Doctor en Biología por la Universidad de Barcelona, España (1998). Está asignado al Programa Educativo de Ingeniería en Biotecnología de la Unidad Virtual en UAIM. Ha sido Dictaminador y Analista Administrativo en Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, Asesor de la Empresa Acuícola Gilberto SC de RL de CV y columnista en el Ciberperiódico Phoenix Medios. Fue Coordinador del Departamento de Proyectos en la Oficina de Transferencia de Tecnología de la Universidad Autónoma Indígena de México (UAIM) y es miembro del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos. Ha sido Profesor Investigador de tiempo completo de la Universidad Autónoma Indígena de México, ha dirigido y asesorado dos tesis y varias monografías

en licenciatura y tres de posgrado. Formó parte del Cuerpo Académico de Desarrollo Sustentable y su experiencia en investigación se relaciona con los aspectos de Valor Agregado a productos Agroforestales, Contaminación, Toxicología Ambiental y ha publicado artículos en revistas indizadas en JCR, arbitradas y de divulgación. También participa en diferentes sociedades científicas y ha sido evaluador de diversos proyectos de investigación como Expociencias Regional Pacífico y Expociencias Nacional. Formó parte del Sistema Nacional de Investigadores como Candidato de julio 2002 a diciembre de 2005 y Reconocimiento por el Programa de Repatriación de CONACYT en 1999. Su experiencia profesional incluye el haber sido responsable de diferentes proyectos de investigación y vinculación financiados por COSNET y CONAHCYT y el haber participado en diferentes cargos académicos y administrativos en los que destacan responsable del Laboratorio de Residuos Tóxicos en el Centro de Investigación, Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Delicias y Director de Investigación de la Universidad Autónoma Indígena de México. Ha sido dos veces candidato a Rector (en 2017 y en 2021) de la Universidad Autónoma Indígena de México en Los Mochis, Sinaloa, México.

IVÁN DELGADO-ENCISO. Profesor titular de la Facultad de Medicina de la Universidad de Colima, México. Jefe del Departamento de Investigación del Instituto Estatal de Cancerología de los Servicios de Salud del Estado de Colima, México. Especialista en Biología Molecular e Ingeniería Genética. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel 3.

ORCID: 0000-0001-9848-862X
ivan_delgado_enciso@ucol.mx

IVÁN VILLALOBOS-JUÁREZ. Obtained his undergraduate degree in Biology at the Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), but, in the past, he studied Marketing in the Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Aguascalientes. Ivan is an Associate Professor of Biology at UAA and a professor in Universidad Autónoma de Durango. He is also a Research Technical Assistant at the Zoological Collection in UAA. Ivan was the last Program Manager of Viper Specialist Group of the International Union for a Conservation of Nature (IUCN) and was a curator of the taxonomic platform Reptile Database. He has worked on the natural history of the Isla Coronado Rattlesnake (*Crotalus helleri caliginis*), habitat use of rattlesnakes in Central Mexico, trade of Mexican rattlesnakes, and the popular knowledge of reptiles. His primary interests include natural history, diversity, and conservation of amphibians and reptiles in Mexico.

ORCID: 0000-0002-2133-6617
epidushunter@gmail.com

JESÚS ANGEL DE LEÓN GONZÁLEZ. es Licenciado en Biología por la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, Maestro en Ciencias por el Instituto Politécnico Nacional, Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Investigador del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, SC (1985-1990). Profesor Investigador de la Facultad

de Ciencias Biológicas (1991 a la fecha). Jefe del Laboratorio de Zoología de Invertebrados No Artrópodos, Secretario de Investigación de la FCB-UANL, Miembro de la Comisión de Evaluación de la FCB-UANL, Miembro del Comité de Premios de la Academia Mexicana de Ciencias (2017-2019). Profesor de 5 cursos de licenciatura y dos de postgrado. Profesor con Perfil Promep desde el año 2000. Consejero Profesor ante el H. Consejo Universitario de la UANL desde el 2004 hasta el 2008. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1991 (Nivel 2 desde 2012). Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias desde 2004. Curador y responsable de la colección Poliquetológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Responsable de 7 proyectos de investigación con apoyo externo a la UANL (CONABIO, CONACYT) y 12 con apoyo de fondos internos (PAICYT). Director de 20 tesis de Licenciatura, 15 de Maestría y 16 de Doctorado. Diez estancias de investigación: Museo de Historia Natural de Los Angeles, Los Angeles, Cal. (USA) (2), Smithsonian Institution, Washington, D.C. (USA) (1), Universidad Autónoma de Madrid, España (2), Museo Nacional de Historia Natural de París, Francia (3); Museo de Zoología e Instituto de la Universidad de Hamburgo, Alemania (1); Museo de Zoología de la Universidad de Amsterdam (1). Estancia de Investigación en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. 1998-1999. Revisor de artículos científicos para *Scientia Marina*, *JMBAUK*, *Zootaxa*, *Zookeys*, *Procc. Biol. Soc. Wash.*, *Rev. Biol. Trop.*, *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *Oceanides*, *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, entre otras. Presentación de más de 100 ponencias en reuniones científicas Nacionales e Internacionales. Autor de 80 artículos científicos en revistas indexadas, 2 libros y 8 capítulos en libro. Alrededor de 1000 citas a publicaciones. Editor en Jefe de la revista electrónica de divulgación Científica Biología y Sociedad.

JORGE JESÚS RODRÍGUEZ ROJAS. El Dr. Jorge Jesús Rodríguez Rojas es Biólogo y Entomólogo Médico por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México. Actualmente labora como Investigador en el Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud, UANL. También es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. Su investigación se centra en la ecología, distribución y diversidad de artrópodos hematófagos (Phlebotominae, Ixodidae, Triatominae y Culicidae) y reservorios de patógenos zoonóticos en áreas urbanas, rurales y silvestres. Y otra línea de investigación enfocada con el desarrollo y evaluación de alimentadores artificiales, trampas y atrayentes para artrópodos vectores. Estas líneas de investigación están en el contexto de Una Salud con la participación de la comunidad.

jorge.rodriguezr@uanl.mx

JOSÉ JUAN RENDÓN HERRERA. Estudiante de maestría del posgrado Recursos Acuáticos de la FACIMAR en la Universidad Autónoma de Sinaloa. Durante su licenciatura y maestría ha enfocado sus estudios en selección sexual y sistemas de apareamiento en tiburones. Cuenta con una publicación sobre

frecuencia de paternidad múltiple en el tiburón marrón. Ha impartido temas selectos dentro de cursos sobre genética y evolución a nivel licenciatura y posgrado, así como asesorado estudiantes de licenciatura.

juanrendon5214@gmail.com

JULIO LORDA. Soy un ecólogo marino interesado en la ecología y la gestión de los ecosistemas costeros. A lo largo de mi carrera he trabajado en una amplia gama de temas, como ecología de poblaciones y comunidades, parasitología, ecología de invasiones, biocontrol de especies exóticas, desarrollo de bioindicadores de la salud de los ecosistemas, biogeografía y gestión de ecosistemas costeros. Para comprender y gestionar mejor nuestros recursos costeros necesitamos estudiar las relaciones entre las variables bióticas y abióticas y la abundancia y distribución de especies de importancia ecológica y económica. Esto nos permitirá mejorar potencialmente los efectos de las perturbaciones humanas, como el cambio climático, la presión pesquera, la eutrofización y el desarrollo humano. Actualmente soy profesor en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California en Ensenada, donde enseño Ecología Comunitaria y Zoología de Invertebrados a los estudiantes de biología y continuo investigando nuestros valiosos ecosistemas costeros. También soy científico adjunto en la Reserva Nacional de Investigación Estuarina del Río Tijuana.

LEOBARDO HERNÁNDEZ-PLOMOZA. Biólogo Pesquero egresado de la UAS (1983). Ha participado en diferentes talleres, cursos y capacitaciones enfocadas a modelos educativos, estrategias académicas y formación de profesores, así como en eventos y reuniones científicas en temas de pesca e isópodos parásitos de peces de interés comercial. Profesor de la materias de Ecología, Tecnología Pesquera y Protozoología de 2010 a 2018 en la Facultad de Ciencias del Mar, UAS.

LOURDES CERVANTES DÍAZ. Bióloga, egresada de la Universidad Nacional Autónoma de México. Realizó estudios de Maestría en Ciencias con especialidad en Recursos Genéticos y Productividad (1998-1999) en el Colegio de Posgraduados. Hizo estudios en Estancia Doctoral en el Instituto de Horticultura y Floricultura de Skierniewice, Polonia y en el 2005 obtuvo el grado de Doctora en Ciencias con especialidad en Fitopatología, en el Colegio de Posgraduados. Actualmente profesora-investigadora titular de tiempo completo B en el Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, Campus Mexicali. Su área de investigación se centra en la Fitopatología, Control Biológico e Inocuidad Alimentaria. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1 y cuenta con el Reconocimiento al Desarrollo Profesional Docente, para el tipo Superior PRODEP.

lourdescervantes@uabc.edu.mx

LUCÍA T. DURAZO SANDOVAL. Soy estudiante de biología en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente me

encuentro colaborando en un proyecto de monitoreo de estuarios con MexCal. Entre mis principales temas de interés se encuentran la biología de invertebrados marinos y parásitos, su evolución, ecología y conservación, así como también los efectos relacionados al cambio climático, el calentamiento global y el impacto antropogénico.

MAGDA CECILIA LÓPEZ GRIMALDO Actualmente cursa noveno semestre de la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo en la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL, además de ser Voluntaria en el Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud (CIDICS), UANL. Realiza su servicio social en Hospital Tierra y Libertad siendo parte del departamento de Farmacia Clínica.

cecilialopez.cl81@gmail.com

MARCO ANTONIO MORIEL SÁENZ. Soy estudiante de la carrera de Oceanología en la Universidad Autónoma de Baja California. Estoy interesado en la ecología de invertebrados marinos y cómo variables oceanográficas o estresores ambientales tienen una influencia en sus comunidades y los eventos que llevan a una sucesión ecológica. Actualmente estoy haciendo mi tesis de licenciatura con el Dr. Osmar Araujo, la cual trata sobre la influencia de variables ambientales en la estructura de las comunidades de poliquetos en dos estuarios de Baja California, México (Punta Banda y San Quintín). Me gustaría especializarme en la ecología del mar profundo, especialmente en chimeneas hidrotermales y caídas de ballenas. Dentro de mis grupos taxonómicos favoritos son los equinodermos y cefalópodos.

marco.moriel@uabc.edu.mx

MARGARITA DE LA LUZ MARTÍNEZ-FIERRO. Doctora en Ciencias con Orientación en Biología Molecular e Ingeniería Genética; miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 3. Líneas de investigación: Medicina y Epidemiología Molecular de enfermedades humanas y Tecnologías para la salud.

ORCID: 0000-0003-1478-9068

margaritamf@uaz.edu.mx

MARÍA ANA TOVAR-HERNÁNDEZ. Es bióloga egresada de la UNAM (2000), Maestra en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo Regional y Doctora en Ecología y Desarrollo Sustentable por ECOSUR (2003 y 2006). Realizó dos posdoctorados (ECOSUR 2007, DGAPA-UNAM 2008-2010). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2009 (nivel II) e Investigadora Honorífica de Sinaloa desde 2012. Se ha especializado en biología, ecología y sistemática (morfológica y molecular) de poliquetos y otros invertebrados marinos exóticos invasores en marinas y puertos de México; así como en la elaboración de análisis de riesgo y planes de detección temprana y programas de monitoreo. Su producción académica versa en la publicación de 60 artículos en revistas indizadas, 5 en revistas no indizadas, 5 artículos de divulgación de la ciencia, 3 libros y 18 capítulos de libros. Ha presentado trabajos en 34 congresos

nacionales y 21 internacionales. Ha establecido 53 especies nuevas para la ciencia y dos nuevos géneros. Imparte cursos de licenciatura, maestría y doctorado sobre agua de lastre y especies invasoras. En los últimos cinco años se ha desempeñado en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

MARÍA DE JESÚS LÓPEZ LÓPEZ. Ingeniera Bioquímica por la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), maestra en Ciencias en Biotecnología Genómica por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y doctora en Ciencias en Biotecnología también por el IPN. Actualmente se desempeña como profesora e investigadora en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel candidato. Integrante de la primera generación de Mentees del Programa Mentees-Mentoras en la Ciencia de The British Council. Colaboradora en investigaciones nacionales e internacionales de gran impacto en la salud pública de México y de otros países, dichas investigaciones han contribuido la generación de conocimiento sobre las propiedades bioquímicas y estructurales de proteínas recombinantes de *Helicobacter pylori*; a la biología, entomología y control biológico de vectores de enfermedades y detección molecular de *arbovirosis* y de bacteria de importancia en la salud animal y la salud pública.

mary.lopez@uas.edu.mx

MARÍA ELIZABETH ALEMÁN HUERTA. Profesora investigadora de la FCB-UANL, responsable del L3 del IB-FCB-UANL. Cuenta con perfil PRODEP, es miembro del cuerpo Académico Investigación Biotecnológica, así como a la Academia de Microbiología Básica en la FCB-UANL. Dirige los trabajos de investigación relacionados a la bioprospección y aislamiento de cepas bacterianas productoras de bioplásticos (PHAs), así como el aprovechamiento de residuos agroindustriales y estudio de la flora nativa como fuente de carbono en fermentaciones de *Bacillus*. Miembro del SNI, nivel I.

ORCID: 0000-0002-1745-6018
maria.alemanhr@uanl.edu.mx

NANCY CLAUDIA SAAVEDRA SOTELO. Investigadora en la FACIMAR de la Universidad Autónoma de Sinaloa mediante el programa Investigadoras e Investigadores por México de CONACyT desde 2014. Es integrante del SNI con el nivel 1. Desde su integración a la FACIMAR ha impartido cursos sobre genética y evolución a nivel licenciatura y posgrado, así como diversos taller sobre herramientas moleculares y bioinformáticas. Fundó el laboratorio de Ecología Molecular y Evolución (LECME) en donde ha desarrollado diferentes proyectos de investigación, de los cuales destaca la evaluación de sistemas de apareamiento en elasmobranchios. Ha publicado diversos artículos indexados y dirigido tesis de licenciatura y posgrado. Es miembro activo de la Red Mexicana de Biología Evolutiva.

nsaavedra@uas.edu.mx

Osmar R. Araujo-Leyva. Soy investigador post-doctoral y profesor en la Universidad Autónoma de Baja California, trabajando con MexCal. Soy ecólogo bentónico y mis principales líneas de estudio son taxonomía de invertebrados bentónicos, ecología y química de contaminantes en sedimentos. Debido a las crecientes presiones antrópicas/climáticas que amenazan la biodiversidad, es esencial comprender la estructura y dinámica de las comunidades biológicas. Estoy particularmente interesado en el estudio de la fauna de invertebrados bentónicos de las lagunas costeras de Southern California Bight. También estoy colaborando con MexCal para desarrollar un programa de monitoreo a largo plazo para las lagunas costeras de Baja California.

osmar.araujo@uabc.edu.mx

REBECCA HODGERS GONZÁLEZ. Estudiante Prepa Tec Campus Vallealto, Bachillerato Internacional, Miembro de la mesa estudiantil FELC y de la Orquesta Representativa.

rebecca.hodgers.gzz@gmail.com

ROSA MARÍA SÁNCHEZ CASAS. QBP, Entomóloga Médica, por la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), México. Actualmente labora como profesor investigador en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, además de colaborar como investigadora en el Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud (CIDICS), UANL. También es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Su investigación se basa en la detección de patógenos, control y biología de artrópodos de importancia médica y veterinaria.

rosa.sanchezcss@uanl.edu.mx

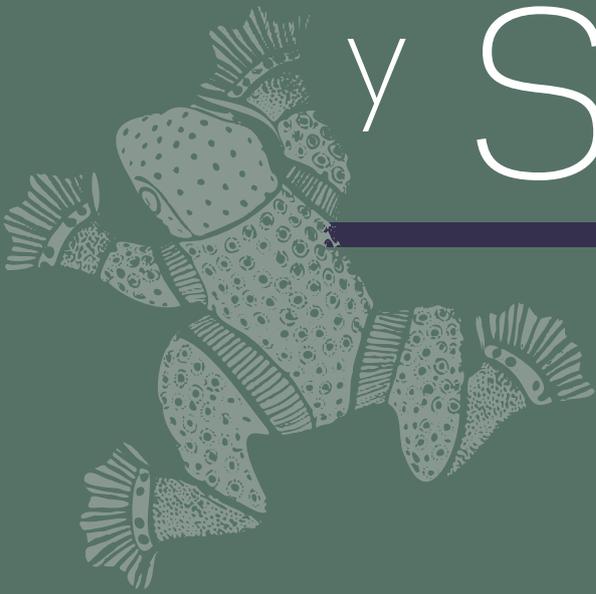
SEBASTIAN RUIZ MEJIA. Soy estudiante de la carrera de Biología en la Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente estoy haciendo mi tesis con el Dr. Osmar Araujo. en ecología de poliquetos del estuario de Punta Banda, Baja California, en específico, de los grupos alimentarios de estos organismos y como su estructura afecta en la dinámica ecológica del estuario. De forma general, me interesa la biología, taxonomía y ecología de invertebrados marinos, en especial de la zona abisal en los océanos o de la zona del intermareal rocoso o lodosos, uno de mis grupos taxonómicos favoritos son los cnidarios, poliquetos y moluscos.

ruiz.sebastian@uabc.edu.mx

THOMAS JOSEPH HODGERS-FERNANDEZ. Médico Cirujano y Partero, Especialista en Radiología e Imagen, certificado por Consejo Mexicano de Radiología e Imagen y Miembro del Colegio de Radiólogos de Nuevo León AC. Sub Director del Alfa Medical Center, Ave. Benito Juárez #314 pte Col. Centro, Guadalupe, Nuevo León CP 67100.

ORCID: 0000-0001-9568-8554
thodgers@hotmail.com

Biología y Sociedad



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FCB

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS