

# La tortuga blanca

y la perturbación antropogénica en el  
Caribe Mexicano

The white turtle and anthropogenic disturbance  
in the Mexican Caribbean



**Autores:**

Bárbara L. Cúmez Caté<sup>1</sup>, Vanessa Labrada-Martagón<sup>2</sup>,  
Nadia L. Islas Madrid<sup>1</sup> y Tania Zenteno-Savín<sup>1</sup>

## Resumen

Las tortugas marinas son animales longevos y carismáticos, pero sensibles a las actividades antropogénicas. En el Caribe Mexicano estos organismos enfrentan amenazas derivadas de las actividades humanas, particularmente desde el siglo XX. Las tortugas marinas en el Caribe Mexicano habitan arrecifes de coral y pastos marinos, los cuales tienen un papel importante para regular las poblaciones. La costa de Quintana Roo es hábitat de anidación y forrajeo de cuatro de las siete especies de tortugas marinas. El nado con tortugas marinas se ofrece como parte del turismo ecológico, una de las actividades económicas más importantes del Estado. Se conoce muy poco de cómo los contaminantes químicos que llegan al mar pueden afectar la salud de las tortugas marinas. Al estar categorizadas como especies amenazadas en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2021) y en la norma oficial mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010), es necesario explorar métodos capaces de mostrar cambios bioquímicos por la presencia de agentes tóxicos, pero que no sean invasivos, como los biomarcadores de estrés



oxidativo. Este manuscrito presenta la situación que enfrentan las tortugas marinas y su hábitat en el Caribe Mexicano y discute los estudios ecotoxicológicos realizados a la fecha en la tortuga blanca (*Chelonia mydas*) en esta región.

**Palabras clave:** tortugas marinas, *Chelonia mydas*, Caribe Mexicano, ecotoxicología, biomarcadores, estrés oxidativo, salud

## Abstract

Sea turtles are long-lived and charismatic animals, but are sensitive to anthropogenic activities. In the Mexican Caribbean, these organisms face threats derived from human activities, particularly since the 20th century. Sea turtles in the Mexican Caribbean inhabit coral reefs and seagrasses, which play an important role in regulating populations. The coast of Quintana Roo is the nesting and foraging habitat of four of the seven species of sea turtles. Swimming with sea turtles is offered as part of ecological tourism, one of the most important economic activities in the State. Very little is known about how chemical contaminants that reach the sea can affect the health of sea turtles. Being categorized as threatened species in the red list of the International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2021) and in the official Mexican standard (NOM-059-SEMARNAT-2010), it is necessary to explore methods capable of showing biochemical changes by the presence of toxic agents, but that are not invasive, such as oxidative stress biomarkers. This manuscript presents the situation faced by sea turtles and their habitat in the Mexican Caribbean and discusses the ecotoxicological studies carried out to date on the white turtle (*Chelonia mydas*) in this region.

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, C.P. 23096.

<sup>2</sup>Laboratorio Ecología de la Salud, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Avenida Chapultepec #1570, San Luis Potosí, CP. 78295.

\*Autor de correspondencia tzenteno04@cibnor.mx

**Key words:** sea turtles, *Chelonia mydas*, Mexican Caribbean, ecotoxicology, biomarkers, oxidative stress, health

## Antecedentes

La región del Caribe Mexicano alberga una exuberante flora y fauna marina que forma parte del sistema arrecifal mesoamericano (SAM). En esta zona podemos encontrar una variedad de ecosistemas, incluyendo arrecifes de coral, manglares, pastos marinos, playas y costas rocosas, que resguardan gran diversidad de especies marinas, algunas en categoría de amenazadas (SEMARNAT y CONANP, 2019). En el Caribe Mexicano el turismo es la principal actividad económica y se ha desarrollado debido al atractivo de sus playas, llegando a ser uno de los destinos turísticos preferidos y el que posee la mayor capacidad de alojamiento en México. Sólo durante el 2019, el Estado de Quintana

Roo, recibió 15,092,762 turistas (SEDETUR, 2020). El turismo es una actividad económica y social de gran relevancia pues de éste dependen, de manera exclusiva, muchas comunidades; sin embargo, para que la actividad turística sea amigable con el ambiente y con la salud de los ecosistemas es necesario que dicha actividad esté acompañada de capacitaciones, supervisión y regulaciones pertinentes. Por ejemplo, se ha registrado deforestación de manglar con alto impacto al norte del Estado, y en aumento en localidades del sur, como Mahahual-Xcalak (SEMARNAT y CONANP, 2019). La disminución de la zona de humedales significa una pérdida de hábitat para muchas especies y una alteración en la dinámica hídrica de la zona (SEMARNAT y CONANP, 2019). Los arrecifes de coral de la región han sufrido cambios históricos, siendo afectados frecuentemente por eventos de blanqueamiento de coral y huracanes, característicos de la zona. Actividades antropogénicas, como el turismo, disminuyen la recuperación de la cobertura de coral en el Caribe Mexicano (Contreras-Silva et al., 2020)

El crecimiento de la población humana, en general, trae consigo un impacto ambiental caracterizado por la contaminación de los acuíferos (Miloslavich et al., 2010). Es importante comprender la relación entre las actividades antropogénicas en la zona costera del Caribe Mexicano, las descargas de agua subterránea submarina y el potencial impacto en las especies marinas (Miloslavich et al., 2010; Null et al., 2014). Los resultados de estudios en ecotoxicología aportarán información que contribuya a la protección de las especies de vida silvestre al identificar fuentes de riesgo. En la actualidad, falta información en algunas regiones de México, los grupos taxonómicos estudiados son limitados y existe variabilidad en los métodos de colecta utilizados (Miloslavich et al., 2010).

Las características únicas del Caribe Mexicano, aguas cristalinas, suelos kársticos, disponibilidad de alimento, bahías

protegidas por los arrecifes y geomorfología, hacen de esta región un hábitat atractivo para cuatro especies de tortugas marinas; la tortuga blanca (en algunos sitios conocida como tortuga verde) (*Chelonia mydas*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), tortuga caguama (*Caretta caretta*) y tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*) (SEMARNAT y CONANP, 2019; Zurita, 1993). Las tortugas marinas son especies muy carismáticas con grandes aptitudes migratorias, distribuidas por todas las cuencas oceánicas, desde los ecosistemas tropicales hasta los subtropicales. Son animales de vida larga y con una forma corporal única, cuerpo rígido y reducido, que este grupo ha mantenido desde el Triásico (Pritchard, 1996). Tanto el crecimiento como el desarrollo de *Thalassia testudinum*, pasto marino conocido como hierba de tortuga que es el alimento preferido de la tortuga blanca en el Caribe Mexicano, son afectados por las actividades turísticas en la costa porque



los turistas, al nadar con aletas, golpean el fondo y remueven el sedimento (Herrera-Silveira et al., 2010). Sin embargo, lo más preocupante es que esto ocurre como parte del llamado turismo ecológico y en áreas protegidas, afectando no sólo a esta especie de pasto marino sino a todas las especies que dependen de ella, incluyendo a la tortuga blanca (Herrera-Silveira et al., 2010).

Los arribazones de sargazo, acarreado por las corrientes marinas a las costas del Caribe Mexicano, también representan una potencial amenaza que podría afectar tanto a nivel ecológico como económico a la región (Tussenbroek et al., 2017). En muestras de sargazo se han reportado concentraciones de elementos como cobre, zinc, manganeso y plomo que pueden ser tóxicas para los vertebrados marinos e incluso para el humano (Rodríguez-Martínez et al., 2020).

Aunque la presencia de sargazo en las playas podría afectar la distribución de las

tortugas, no se han encontrado efectos sobre el anidamiento y eclosión de las tortugas blancas y caguamas en 17 campamentos tortugueros del Caribe Mexicano durante los arribazones masivos del año 2015, 2018 y 2019 (Rodríguez-Martínez et al., 2021). Así mismo, la irregularidad de la cantidad de sargazo y las estrategias de manejo que se han aplicado también han contribuido a disminuir su efecto (Rodríguez-Martínez et al., 2021). La eutrofización del agua (cambios de color, turbidez, reducción de oxígeno disuelto) asociada a eventos de sargazo y a la descomposición de éste, han sido relacionados con la mortalidad de fauna marina en Quintana Roo (Rodríguez-Martínez et al., 2019) por lo que pueden llegar a afectar a más especies. Condiciones de eutrofización en sitios de alimentación de tortugas marinas se han sugerido como factor etiológico de la enfermedad emergente fibropapilomatosis que afecta a estas especies mundialmente (Van Houtan et al., 2010).

Las tortugas marinas contribuyen al mantenimiento de pastos marinos saludables, al transporte de nutrientes y energía del mar a los ecosistemas terrestres (Bouchard y Bjorndal, 2000), pero se encuentran atravesando serias amenazas como grupo. Las siete especies de tortugas marinas que encontramos hoy en día se encuentran dentro de alguna categoría de amenaza de acuerdo a la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2021). En México también están clasificadas en la categoría de peligro crítico de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), están incluidas en la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas, un acuerdo internacional (Chacon et al., 2008), y dentro del Apéndice I de especies en peligro de extinción de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES, 2021).

En el estado de Quintana Roo han sido declaradas alrededor de 18 áreas protegidas, que incluyen zonas terrestres, costas y zonas marítimas, que contribuyen a la preservación ambiental y al ordenamiento pesquero en el Caribe Mexicano (SEMARNAT y CONANP, 2019).

En esta región, las tortugas marinas son vulnerables a las mismas amenazas naturales y antropogénicas que en otras regiones del mundo, tales como la pesca incidental, el aporte de basura plástica al medio marino, el escurrimiento de contaminantes químicos en zonas agrícolas; pero, principalmente, se ven afectadas por el desarrollo turístico y disminución en la calidad del hábitat (Cuevas et al., 2020; Oliver de la Esperanza et al., 2017). En algunas playas de anidación de Quintana Roo, las amenazas antropogénicas producto del turismo son principalmente la presencia de muebles en las playas que bloquean el movimiento de las crías y las

hembras anidadoras y las luces artificiales en las playas que pueden desorientar a las tortugas (Oliver de la Esperanza et al., 2017).



**Figura 1.** Basura plástica en playa Mahahual, Quintana Roo. Ana Antillanca Oliva, Menos plástico es fantástico A.C.

El Caribe Mexicano es una zona importante de forrajeo y crecimiento somático para los juveniles de tortuga blanca. Se reportan tallas desde 27.8 hasta 81.0 cm de largo curvo de caparazón, siendo las tortugas inmaduras el principal grupo reportado (Labrada-Martagón et al., 2017). La tortuga blanca puede pasar más de 15 años en las bahías de forrajeo hasta



alcanzar la talla mínima de anidación, momento en el que se asume que comienza su etapa reproductiva (Labrada-Martagón et al., 2017). Por ende, es importante comprender los efectos tóxicos y a la salud que la exposición a los contaminantes puedan tener en estos animales y que pudiera poner en riesgo su conservación a largo plazo. El objetivo de este manuscrito es discutir el estado del arte sobre estudios ecotoxicológicos en la tortuga blanca (*C. mydas*) en el Caribe Mexicano.



**Figura 2.** Puerto Ángel, Quintana Roo. Ana Antillanca Oliva, Menos plástico es fantástico A.C.

### **Estudios ecotoxicológicos en tortugas marinas**

En ecotoxicología el objetivo es analizar los efectos tóxicos y clínicos de los contaminantes sobre los organismos. A esta rama de la ciencia le competen los mecanismos y patrones de transferencia de los contaminantes en los sistemas naturales (Boudou y Ribeyre, 2018). Las investigaciones recientes que afrontan la problemática desde la ecotoxicología tratan de dilucidar cómo los estresores ambientales, como metales pesados presentes naturalmente en el ambiente, y la contaminación originada por las actividades humanas, como descarga de

plaguicidas, plásticos o actividades turísticas, pueden afectar la calidad de agua y la salud de especies como las tortugas marinas (Sparling, 2016). Dado que las tortugas marinas son especies amenazadas (IUCN, 2021), los estudios para evaluar el estado de salud de sus poblaciones han requerido metodologías no invasivas; es decir, casi inofensivas para la supervivencia del individuo (Owens y Ruiz, 1980.)

Las tortugas marinas al ser organismos longevos, con dietas que varían de acuerdo a la especie y condiciones regionales, se encuentran expuestas a la contaminación y pueden bioacumular contaminantes a lo largo de su vida, lo cual favorece que puedan usarse como especies centinela de ecosistemas (Camacho et al., 2017; Esteban et al., 2020).

Las especies centinela, en ecotoxicología, son empleadas para determinar algún riesgo asociado a contaminantes químicos ambientales mediante la medición de biomarcadores (Walters et al., 2017). Keller (2013) reporta que, de 610 compuestos químicos posiblemente persistentes y bioacumulables, 16 contaminantes orgánicos persistentes (POPs, por sus siglas en inglés) han sido identificados en tortugas marinas. El mismo autor argumenta que, si bien los POPs brindan beneficios al estilo de vida del ser humano, la permanencia de éstos en el ambiente lleva a su acumulación en los tejidos y pueden provocar toxicidad. Los efectos directos en tortugas marinas aún no son claros; sin embargo, se cree que pueden contribuir a la prevalencia de enfermedades, inmunosupresión, mayor susceptibilidad a problemas de salud, alteraciones del desarrollo embrionario, alteraciones del éxito reproductivo e incremento en la mortalidad (Keller, 2013).



**Figura 3.** Zona de anidación Bahía de Akumal. Vanessa Labrada Martagón. Laboratorio Ecología de la Salud, UASLP.

Se han observado variaciones en las concentraciones de metales pesados en tejidos en relación a la talla de la tortuga blanca, de tal manera que hay mayores concentraciones de cobre

en las tortugas más pequeñas; esto se atribuye a cambios en sus hábitos de alimentación de carnívoras a herbívoras durante su crecimiento (Sakai et al., 2000). Sin embargo, otros estudios no han mostrado diferencias entre clases de tallas de la tortuga blanca y plaguicidas organoclorados (Labrada-Martagón et al., 2011). Los plaguicidas organoclorados, bifeniles policlorados e hidrocarburos aromáticos policíclicos identificados en plasma de tortuga carey también pueden tener efectos negativos en sus parámetros de salud, causando anemia o dañando sus órganos (Camacho et al., 2013). Algunos hallazgos en relación al consumo humano, al suroeste del Caribe en Panamá, identificaron la acumulación de elementos traza como hierro, zinc, arsénico, selenio y estroncio en huevos de tortuga baula (*Dermochelys coriacea*), lo que representa un potencial riesgo por su consumo (Guzman et al., 2020). Una de las maneras para



conocer los posibles efectos biológicos que presentan los organismos que han sido expuestos a contaminantes ambientales es mediante el uso de biomarcadores (Keller, 2013).



**Figura 4.** Cría de tortuga verde (*Chelonia mydas*), Playa Vega de Alatorre, Veracruz. Amelly H. Ramos Díaz

### ***Biomarcadores de salud en tortugas marinas***

Para poder caracterizar los efectos que los contaminantes ejercen sobre las especies centinela (*e.g.* mamíferos marinos, aves, peces, tortugas marinas) se han utilizado diversos biomarcadores. Éstos se definen como “variaciones bioquímicas, celulares, fisiológicas o de comportamiento que pueden ser medidas en muestras de tejidos o fluidos, que proveen evidencia de exposición a y/o efectos de ciertos contaminantes” (Amiard-Triquet et al., 2015). Los biomarcadores nos permiten monitorear los efectos de compuestos orgánicos persistentes sobre los organismos marinos, desde metales pesados hasta policlorobifenilos, pesticidas organoclorados e hidrocarburos, y proveen una señal

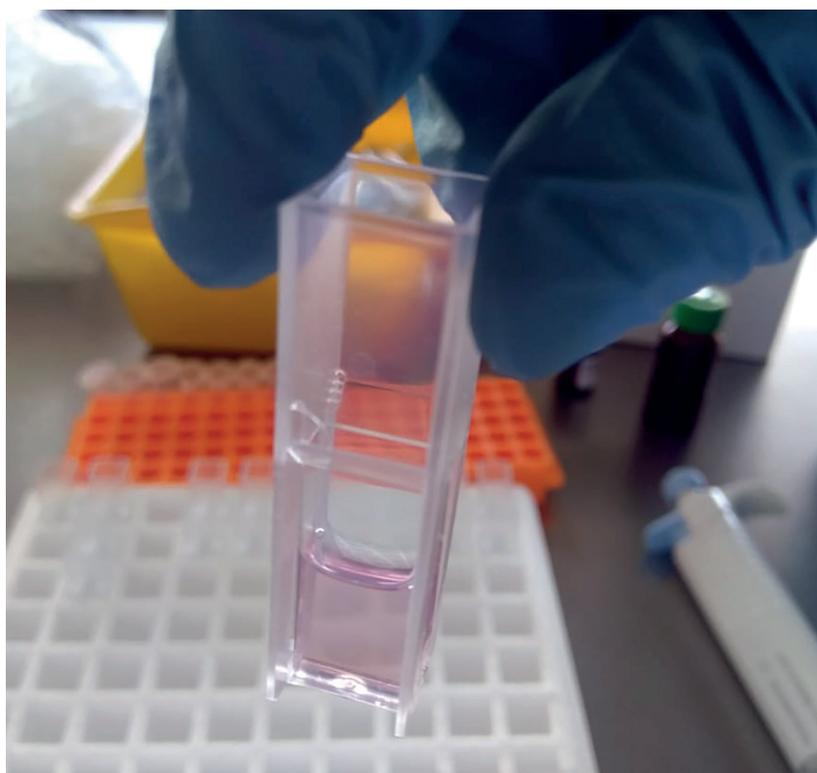
de degradación ambiental (Amiard-Triquet et al., 2015). Los biomarcadores nos revelan estados susceptibles de los organismos y nos permiten inferir cuando hay un aumento en la prevalencia de enfermedades que llegue a afectar a la población (Labrada-Martagón, 2018). La mayoría de las investigaciones ecotoxicológicas en tortugas marinas que se han realizado por medio de biomarcadores ha utilizado la cuantificación de la actividad de enzimas, concentración de parámetros bioquímicos e incluso hormonas en distintos tejidos y evaluado sus variaciones entre clases de edad, sexo y sitios con distinto grado de perturbación (Finlayson et al., 2016). A partir de estudios en diferentes localidades sabemos que los niveles de los biomarcadores pueden variar con base en las condiciones de salud y ambientales a las que están expuestas las tortugas marinas (Camacho et al., 2017; Casini et al., 2018; Cortés-Gómez et al., 2017, 2018; Labrada-

Martagón et al., 2011; Perrault et al., 2017; Silva et al., 2016).

Entre los biomarcadores ecotoxicológicos utilizados en tortugas marinas se encuentran enzimas antioxidantes, producción de radical superóxido y daño oxidativo a lípidos y proteínas, como indicadores de estrés oxidativo (Labrada-Martagón et al., 2011; Richardson et al., 2009; Valdivia et al., 2007). Un organismo puede atravesar estados de estrés oxidativo como resultado de un desbalance entre las especies reactivas y las defensas antioxidantes, ocasionados por estresores ambientales como los contaminantes, condiciones del clima, condiciones de salud, entre otros (Halliwell y Gutteridge, 2015). Los antioxidantes son moléculas que retardan, previenen o remueven el daño oxidativo de un sustrato, mientras que las especies reactivas son átomos o moléculas altamente reactivas y, por ende, poseen una vida media muy corta (Halliwell y Gutteridge, 2015).

### ***Indicadores de estrés oxidativo como marcadores de exposición a contaminantes***

Los estudios de estrés oxidativo en tortugas marinas en México aún son escasos; sin embargo, Valdivia y colaboradores fueron pioneros en medir la producción de radical superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ), peroxidación de lípidos (TBARS) y las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión S-transferasa (GST) como indicadores de estrés oxidativo en muestras de tejidos (hígado, pulmón, corazón, riñón y músculo) de tortuga verde en Baja California Sur (Valdivia et al., 2007).



**Figura 5.** Determinación clínica. Lucía Delgado Meraz, Laboratorio Ecología de la Salud, UASLP.

Estos autores encontraron una mayor producción de  $O_2^{\cdot-}$  en hígado, pulmón y músculo; mayores niveles de TBARS en hígado; mayor actividad de SOD en hígado y músculo, y mayores niveles de actividad de CAT y GST en hígado y riñón. Sus hallazgos dan una primera luz de la variación de la actividad enzimática



entre tejidos y su potencial como biomarcadores (Valdivia et al., 2007). Posteriormente, Richardson y colaboradores (2009) caracterizaron la actividad de GST en tejidos de cuatro especies de tortugas marinas en varias costas de México (Richardson et al., 2009). Estos autores observaron variaciones entre especies y dentro de una misma especie en la actividad (velocidad de reacción) de la GST, sugiriendo diferencias en el potencial de biotransformación de GST entre especies (Richardson et al., 2009). Más adelante, Labrada-Martagón y colaboradores (2011) asociaron los biomarcadores de estrés oxidativo con la concentración de plaguicidas organoclorados en muestras de sangre de tortuga verde en dos localidades de la costa occidental de Baja California Sur (Labrada-Martagón et al., 2011). Dichos autores observaron correlaciones entre la actividad de las enzimas CAT y GST y algunos plaguicidas organoclorados en Punta

Abrejos, y correlaciones entre la actividad de las enzimas CAT, y SOD y elementos traza en Bahía Magdalena, mostrando la sensibilidad de los biomarcadores de estrés oxidativo a diferentes condiciones ambientales (Labrada-Martagón et al., 2011). En ese estudio los niveles de TBARS, que indican daño oxidativo, mostraron correlaciones con las concentraciones de cadmio, clordano y heptacloros, por lo que se sugiere que la tortuga verde es sensible a la exposición a xenobióticos (Labrada-Martagón et al., 2011).



**Figura 6.** Tortuga verde (*Chelonia mydas*) Tortugranja Isla Mujeres, Quintana Roo. Vanessa Labrada Martagón. Laboratorio Ecología de la Salud, UASLP.

Son escasos los estudios ecotoxicológicos en la Península de Yucatán y el Caribe Mexicano. Tremblay y colaboradores (2016) llevaron a cabo un estudio en una playa de anidación de hembras de tortuga carey, en Punta Xen en Campeche al Sur del Golfo de México. En este trabajo reportaron la presencia de plaguicidas organoclorados en muestras de sangre de las tortugas carey, resultado de actividades humanas como la agricultura, pesquería y aguas residuales en la región (Tremblay et al., 2016).

En las tortugas carey de Campeche se encontró una

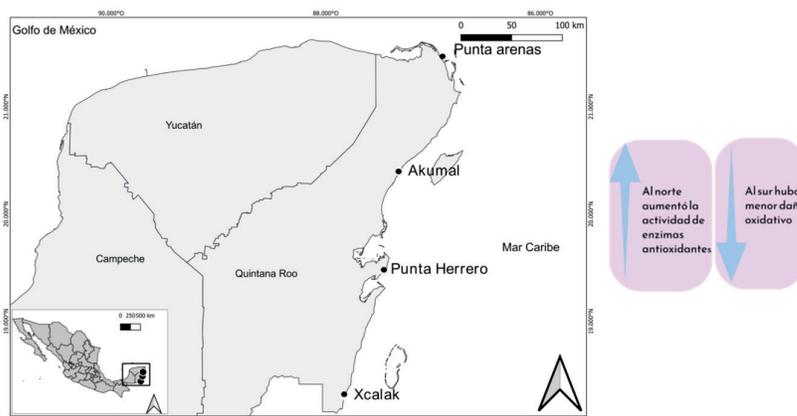
relación positiva entre la concentración de metoxicloro y la talla de las tortugas, entre la concentración de hexaclorohexano y la actividad de CAT y entre la concentración de butirilcolinesterasa, un biomarcador de daño neurotóxico, y los niveles de heptacloros (Tremblay et al., 2016). Estos resultados sugieren que los indicadores de estrés oxidativo son útiles para evaluar el impacto de los plaguicidas organoclorados y cómo éstos afectan la fisiología de la tortuga Carey (Tremblay et al., 2016).

Con el propósito de analizar el posible efecto del grado de perturbación ambiental en la salud de la tortuga blanca en el Caribe Mexicano, Islas (2020) midió diversos indicadores de estrés oxidativo en 119 muestras de sangre de machos y hembras, colectadas en varios sitios de forrajeo en el periodo de 2015 a 2018.

Los resultados mostraron que las tortugas que habitan las zonas al norte de Quintana Roo tienen mayor actividad de

enzimas antioxidantes y las que habitan las zonas hacia el sur presentan menor daño oxidativo (Fig. 7) (Islas, 2020).

Dichas variaciones pueden atribuirse a diferencias en la actividad turística de la región (Islas, 2020), ya que la afluencia e infraestructura turística de Quintana Roo es mayor al norte del estado en comparación con el bajo desarrollo urbano al sur del mismo (SEDETUR, 2017). Islas (2020) encontró una discriminación significativa entre zonas de alimentación, esto quiere decir que los indicadores de estrés oxidativo y los factores abióticos analizados pueden utilizarse para establecer una separación entre individuos de distintas zonas (Islas, 2020).

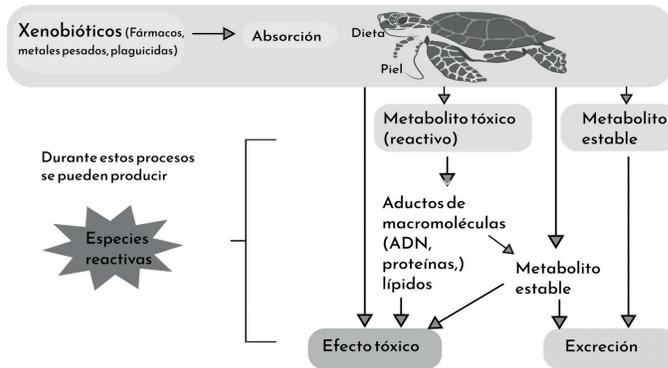


**Figura 7.** Resumen de los cambios observados en los indicadores de estrés oxidativo en relación a la zona geográfica que habita la población de tortuga blanca (*Chelonia mydas*) en el Caribe Mexicano (Adaptado de Islas, 2020).

Estos resultados sugieren que las tortugas blancas que utilizan las zonas con mayor desarrollo urbano presentan mayores niveles de estrés oxidativo y que ello pudiese afectar su salud (Islas, 2020). La fibropapilomatosis es una enfermedad neoplásica caracterizada por tumores fibroepiteliales histológicamente benignos, usualmente en cavidades como la piel y ojos, que afecta principalmente a *C. mydas* y ha sido asociada a mala calidad de las condiciones ambientales (Herbst y Klein, 1995; Jones et al., 2016). En el estudio de Islas se registraron casos de tortugas blancas con fibropapilomatosis de diferentes tallas, juveniles



y adultos; sin embargo, no se encontraron diferencias en los indicadores de estrés oxidativo entre las tortugas con tumores y las que no presentaron evidencia de fibropapilomatosis (Islas, 2020).



**Figura 8.** Posibles rutas de detoxificación de compuestos xenobióticos en tortugas marinas. El efecto puede ser directo, pasar por una activación metabólica, formación de un metabolito estable y/o ser detoxificado. Modificado de (Van der Oost, Beyer y Vermeulen, 2003).

### Otros marcadores de exposición a contaminantes

Otros estudios en el Caribe Mexicano utilizando diferentes tipos de biomarcadores sugieren que estas especies marinas son sensibles a contaminantes. En tortugas caguamas anidadoras en la playa Aventuras-DIF en Quintana Roo los parámetros de bioquímica sanguínea (ej. aspartato amino transferasa) y hemograma (ej. glóbulos rojos) se relacionaron con las concentraciones de 16 plaguicidas organoclorados, encontrando algunas correlaciones entre ellos (González, 2015). Con base en lo anterior, los autores sugirieron que la respuesta bioquímica podría ser modulada por las concentraciones de plaguicidas, lo que indica que las tortugas caguamas podrían ser sensibles a bajas concentraciones de estos contaminantes (González, 2015).

Así mismo, Sanjuan reportó que las concentraciones de metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes en muestras de sangre de la tortuga blanca en Quintana Roo

actualmente no representan un riesgo, pero que debe seguirse monitoreando a futuro (Sanjuan, 2020).

### Arribazones masivas de sargazo

Aunque se conoce poco sobre los efectos de las arribazones de sargazo en las tortugas en Quintana Roo, se ha sugerido que estos eventos están modificando la distribución de la anidación y la cantidad de nidos durante la temporada (Soto Rodríguez, 2020). Se ha sugerido que ello no afecta la anidación y eclosión de tortuga blanca y caguama en playas de la región (Rodríguez-Martínez et al., 2021).

Previo a los eventos masivos, un estudio reportó que en tortugas blancas de playas de Quintana Roo no se han encontrado concentraciones alarmantes de metales pesados (Talavera, 2010). Sin embargo, se reportó un aumento en la actividad de la enzima antioxidante GST, en tortuga blanca de las localidades de Punta Herrero y Akumal

durante el evento de arribazón masivo de sargazo ocurrido en el año 2015 (Islas, 2020). Claramente, son necesarios más estudios ecotoxicológicos, particularmente durante los arribazones del sargazo, para conocer los efectos en las tortugas marinas.

En el caso particular de Florida, Estados Unidos, se midieron una serie de variables de salud (ej. índice de condición corporal) y elementos tóxicos (ej. arsénico) en muestras de sangre de tortuga lora (*Lepidochelys kempi*) y tortuga blanca durante un florecimiento algal en el 2014 (Perrault et al., 2017). Los resultados sugirieron un posible estado de estrés oxidativo, así como asociaciones entre el grado de afectación tumoral de fibropapilomatosis y el florecimiento algal (concentración de neurotoxinas liberadas por las algas); por lo tanto, es posible que éstas pueden ser un potencial promotor tumoral (Perrault et al., 2017).

### Discusión académica y perspectivas

La salud de los humanos está intrínsecamente ligada a la salud de los animales con los que convivimos y a la salud de los ecosistemas que habitamos. Por ende, preservar la salud de los ecosistemas, de los animales y plantas redundará en la calidad de vida para los humanos. En los últimos años la lista de biomarcadores ecotoxicológicos estudiados en tortugas marinas ha ido creciendo.

Los autores de los estudios aquí descritos coinciden en que los contaminantes como plaguicidas, metales pesados y minerales, de manera individual o en conjunto, pueden poner en riesgo la salud de las tortugas marinas, y que estas especies son sensibles a cambios en las concentraciones de los contaminantes en el ambiente. Sin embargo, falta investigación específica sobre la toxicidad de estos y otros químicos en el Caribe Mexicano. La explotación de tortugas marinas en el siglo

XX dejó a las poblaciones en estado crítico. A partir del último cuarto del siglo XX a la actualidad, las amenazas que enfrentan han ido cambiado; la contaminación, el crecimiento del turismo y la industrialización limitan la recuperación de las poblaciones (Cid, 2011). El desarrollo turístico acelerado en la Península de Yucatán ha hecho difícil la reducción del impacto sobre el patrimonio natural y cultural, ya que no se tiene una planeación estatal sobre ello (Benavides, 2014).

Dado que las tortugas marinas se mueven dentro de un rango amplio de distribución a lo largo de su ciclo de vida, es un reto poder conocer los efectos y consecuencias de la contaminación que las lleva a un deterioro en su salud. El uso de biomarcadores en tortugas marinas en estudios ecotoxicológicos y evaluaciones de salud es reciente en el Caribe Mexicano. Es relevante que se evalúen diferentes tipos de biomarcadores en



varias localidades y en otras especies, siguiendo un monitoreo constante a largo plazo, para poder identificar si las poblaciones están bajo algún riesgo ecotoxicológico. La aplicación de varios biomarcadores de manera simultánea y estudios multidisciplinarios son cruciales para comprender los riesgos de exposición a una variedad de contaminantes de origen antropogénico y ambientales, en particular aquellos que ya han sido empleado en estudios previos.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) por las facilidades y financiamiento para este estudio, al CONACYT por a la beca (1001718) otorgada a BLCC; al IBQ O Lugo-Lugo por el apoyo técnico, y al Laboratorio Ecología de la Salud de la Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. TZS y VLM son miembros de la Red Iberoamericana “Evaluación de los Efectos de los Contaminantes Emergentes en Organismos Acuáticos y Salud humana” (RIESCOS) del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

### Literatura citada

- (CITES) Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres. 2021. *Apéndices I, II y III*.
- Amiard-Triquet, C., Amiard, J.-C., y Mouneyrac, C. 2015. *Aquatic Ecotoxicology. Advancing tools for dealing with emerging risks*. Elsevier.
- Benavides, A. 2014. *Estrategias para la protección de patrimonio cultural y natural de la península de Yucatán ante el avance de los desarrollos turísticos premium*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bouchard, S. S., y Bjorndal, K. A. 2000. *Sea Turtles as Biological Transporters of Nutrients and Energy from Marine to Terrestrial Ecosystems*. *Ecological Society of America*, 81(8), 2305–2313.
- Boudou, A., y Ribeyre, F. 2018. *Aquatic ecotoxicology: Fundamental concepts and methodologies*. En: *Aquatic Ecotoxicology Fundamental Concepts and Methodologies (Vol. 1)*. <https://doi.org/10.1201/9781351069861>
- Camacho, M., Luzardo, O. P., Boada, L. D., López, L. F., Medina, M., Zumbado, M., y Orós, J. 2013. *Potential adverse health effects of persistent organic pollutants on sea turtles: Evidences from a cross-sectional study on Cape Verde loggerhead sea turtles*. *Science of the Total Environment*, 458–460, 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.04.043>

- Camacho, M., Luzardo, O. P., y Orós, J. 2017. *Chemical Threats to Sea Turtles*. En: M. L. Larramendy (Ed.), *Ecotoxicology and Genotoxicology: Non-Traditional Aquatic Models* (pp. 442–466). The Royal Society of Chemistry.
- Casini, S., Caliani, I., Giannetti, M., Marsili, L., Maltese, S., Coppola, D., Bianchi, N., Campani, T., Ancora, S., Caruso, C., Furi, G., Parga, M., D'Agostino, A., y Fossi, M. C. 2018. *First ecotoxicological assessment of *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) in the Mediterranean Sea using an integrated nondestructive protocol*. *Science of the Total Environment*, 631–632, 1221–1233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.111>
- Chacon, D., Dick, B., Harrison, E., Solano, L., y Marco, S. 2008. *Manual sobre técnicas de manejo y conservación de las tortugas marinas en playas de anidación de Centroamérica*. Secretaria Pro Tempore de la Convención Interamericana para la Protección y Conservación de las Tortugas Marinas (CIT).
- Cid, A. 2011. *Reconstrucción histórica de la explotación de tortuga marina en el norte de Quintana Roo*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Contreras-Silva, A. I., Tilstra, A., Migani, V., Thiel, A., Pérez-Cervantes, E., Estrada-Saldívar, N., Elias-Ilosvay, X., Mott, C., Alvarez-Filip, L., y Wild, C. 2020. *A meta-analysis to assess long-term spatiotemporal changes of benthic coral and macroalgae cover in the Mexican Caribbean*. *Scientific Reports*, 10(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65801-8>
- Cortés-Gómez, A. A., Morcillo, P., Guardiola, F. A., Espinosa, C., Esteban, M. A., Cuesta, A., Girondot, M., y Romero, D. 2017. *Molecular oxidative stress markers in olive ridley turtles (*Lepidochelys olivacea*) and their relation to metal concentrations in wild populations*. *Environmental Pollution*, 233(February 2018), 156–167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.046>
- Cortés-Gómez, A. A., Tvarijonavičiute, A., Teles, M., Cuenca, R., Fuentes-Mascorro, G., y Romero, D. 2018. *p-Nitrophenyl Acetate Esterase Activity and Cortisol as Biomarkers of Metal Pollution in Blood of Olive Ridley Turtles (*Lepidochelys olivacea*)*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 75(1), 25–36. <https://doi.org/10.1007/s00244-017-0464-z>
- Cuevas, E., Putman, N. F., Uribe-Martínez, A., López-Castro, M. C., Guzmán-Hernández, V., Gallegos-Fernández, S. A., Liceaga-Correa, M. de los Á., Trujillo-Córdova, J. A., González-Díaz-Mirón, R. de J., Negrete-Phillipe, A., Acosta-Sánchez, H. H., Martínez-Portugal, R. C., López-Hernández, M., Huerta-Rodríguez, P., y Silver, J. 2020. *First Spatial Distribution Analysis of Male Sea Turtles in the Southern Gulf of Mexico*. *Frontiers in Marine Science*, 7(November), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.561846>



- Esteban, N., Mortimer, J. A., Stokes, H. J., Laloë, J. O., Unsworth, R. K. F., y Hays, G. C. 2020. *A global review of green turtle diet: sea surface temperature as a potential driver of omnivory levels*. *Marine Biology*, 167(12), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03786-8>
- Finlayson, K. A., Leusch, F. D. L., y van de Merwe, J. P. 2016. *The current state and future directions of marine turtle toxicology research*. *Environment International*, 94, 113–123. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.013>
- González, D. 2015. *Determinación de plaguicidas organoclorados y su relación con parámetros sanguíneos en tortugas Caguama (Caretta caretta (Linnaeus, 1758)) de Quintana Roo, México* (Tesis de Maestría). El Colegio de la Frontera Sur.
- Guzman, H. M., Kaiser, S., y van Hinsberg, V. J. 2020. *Accumulation of trace elements in leatherback turtle (Dermochelys coriacea) eggs from the south-western Caribbean indicates potential health risks to consumers*. *Chemosphere*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125424>
- Halliwell, B., y Gutteridge, J. M. C. (Eds). 2015. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 5<sup>th</sup> Edition. Oxford University Press.
- Herbst, L. H., y Klein, P. A. 1995. *Green turtle fibropapillomatosis: Challenges to assessing the role of environmental cofactors*. *Environmental Health Perspectives*, 103(SUPPL. 4), 27–30. <https://doi.org/10.1289/ehp.95103s427>
- Herrera-Silveira, J. A., Cebrian, J., Hauxwell, J., Ramirez-Ramirez, J., y Ralph, P. 2010. *Evidence of negative impacts of ecological tourism on turtlegrass (Thalassia testudinum) beds in a marine protected area of the Mexican Caribbean*. *Aquatic Ecology*, 44(1), 23–31. <https://doi.org/10.1007/s10452-009-9260-9>
- Islas, N. L. 2020. *Indicadores de estrés oxidativo de la población de tortuga blanca (Chelonia mydas) que habita en el Caribe Mexicano* (Tesis de Maestría). Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. (CIBNOR).
- IUCN. (2021). *Lista Roja de Especies*. <https://www.iucn.org/es>
- Jones, K., Ariel, E., Burgess, G., y Read, M. 2016. *A review of fibropapillomatosis in Green turtles (Chelonia mydas)*. *The Veterinary Journal*, 212, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.10.041>
- Keller, J. M. 2013. *Exposure to and effects of persistent organic pollutants*. *En: The Biology of Sea Turtles* 3 (pp. 285–328). <https://doi.org/10.1201/b13895>
- Labrada-Martagón, V. 2018. *Biomarcadores y salud ecológica*. *Recursos Naturales y Sociedad*, 4(2), 9–20. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2018.04.04.02.0001>
- Labrada-Martagón, V., Muñoz, F. A., Herrera-Pavón, R., y Negrete-Philippe, A. 2017. *Somatic growth rates of immature green turtles Chelonia mydas inhabiting the foraging ground Akumal Bay in*

- the Mexican Caribbean Sea*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 487, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.11.015>
- Labrada-Martagón, V., Tenorio Rodríguez, P. A., Méndez-Rodríguez, L. C., y Zenteno-Savín, T. 2011. *Oxidative stress indicators and chemical contaminants in East Pacific green turtles (Chelonia mydas) inhabiting two foraging coastal lagoons in the Baja California peninsula*. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C, 154, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2011.02.006>
- Miloslavich, P., Díaz, J. M., Klein, E., Alvarado, J. J., Díaz, C., Gobin, J., Escobar-Briones, E., Cruz-Motta, J. J., Weil, E., Cortés, J., Bastidas, A. C., Robertson, R., Zapata, F., Martín, A., Castillo, J., Kazandjian, A., y Ortiz, M. 2010. *Marine biodiversity in the caribbean: Regional estimates and distribution patterns*. PLoS ONE, 5(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011916>
- Null, K. A., Knee, K. L., Crook, E. D., de Sieyes, N. R., Rebolledo-Vieyra, M., Hernández-Terrones, L., y Paytan, A. 2014. *Composition and fluxes of submarine groundwater along the Caribbean coast of the Yucatan Peninsula*. Continental Shelf Research, 77, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.01.011>
- Oliver de la Esperanza, A., Arenas Martínez, A., Tzeek Tuz, M., y Pérez-Collazos, E. 2017. *Are anthropogenic factors affecting nesting habitat of sea turtles? The case of Kanzul beach, Riviera Maya-Tulum (Mexico)*. Journal of Coastal Conservation, 21(1), 85–93. <https://doi.org/10.1007/s11852-016-0473-5>
- Owens, D. W., y Ruiz, G. J. 1980. *New Methods of Obtaining Blood and Cerebrospinal Fluid from Marine Turtles*. Herpetologica, 36(1), 17–20.
- Perrault, J. R., Stacy, N. I., Lehner, A. F., Mott, C. R., Hirsch, S., Gorham, J. C., Buchweitz, J. P., Bresette, M. J., y Walsh, C. J. 2017. *Potential effects of brevetoxins and toxic elements on various health variables in Kemp's ridley (Lepidochelys kempii) and green (Chelonia mydas) sea turtles after a red tide bloom event*. Science of the Total Environment, 605–606, 967–979. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.149>
- Pritchard, P. C. H. 1996. *Evolution, phylogeny, and current status*. En: P. L. Lutz y J. A. Musick (Eds.), The Biology of Sea Turtles (p. 447).
- Richardson, K. L., Gold-Bouchot, G., y Schlenk, D. 2009. *The characterization of cytosolic glutathione transferase from four species of sea turtles: Loggerhead (Caretta caretta), green (Chelonia mydas), olive ridley (Lepidochelys olivacea), and hawksbill (Eretmochelys imbricata)*. Comparative Biochemistry and Physiology, Part C, 150, 279–284. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2009.05.005>
- Rodríguez-Martínez, R. E., Medina-Valmaseda, A. E., Blanchon, P., Monroy-Velázquez, L. V., Almazán-Becerril, A., Delgado-Pech, B., Vásquez-Yeomans, L., Francisco, V., y García-Rivas, M. C. 2019.



- Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic Sargassum.* Marine Pollution Bulletin, 146, 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015>
- Rodríguez-Martínez, R. E., Quintana-Pali, G., Trujano-Rivera, K. I., Herrera, R., García-Rivas, M. del C., Ortiz, A., Castañeda, G., Maldonado, G., y Jordán-Dahlgren, E. 2021. *Sargassum landings have not compromised nesting of loggerhead and green sea turtles in the Mexican Caribbean.* Journal of Environmental Management, 299. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113614>
- Rodríguez-Martínez, R. E., Roy, P. D., Torrescano-Valle, N., Cabanillas-Terán, N., Carrillo-Domínguez, S., Collado-Vides, L., García-Sánchez, M., y van Tussenbroek, B. I. 2020. *Element concentrations in pelagic Sargassum along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019.* PeerJ, 2, 1–19. <https://doi.org/10.7717/peerj.8667>
- Sakai, H., Saeki, K., Ichihashi, H., Kamezaki, N., Tanabe, S., y Tatsukawa, R. 2000. *Growth-related changes in heavy metal accumulation in green turtle (Chelonia mydas) from Yaeyama Islands, Okinawa, Japan.* Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 39(3), 378–385. <https://doi.org/10.1007/s002440010118>
- Sanjuan, X. S. 2020. *Evaluación de la respuesta clínica y genotóxica por la exposición a Plomo y compuestos orgánicos persistentes en organismos inmaduros de tortuga verde (Chelonia mydas) en Quintana Roo, México* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- SEDETUR. 2017. *Indicadores turísticos Enero-Diciembre 2016.*
- SEDETUR. 2020. *Indicadores Turísticos PRELIMINARES Enero-Diciembre 2019.*
- SEMARNAT, (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. *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.* Diario Oficial, 78.
- SEMARNAT, y CONANP. 2019. *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano.*
- Silva, C. C. da, Klein, R. D., Barcarolli, I. F., y Bianchini, A. 2016. *Metal contamination as a possible etiology of fibropapillomatosis in juvenile female green sea turtles Chelonia mydas from the southern Atlantic Ocean.* Aquatic Toxicology, 170, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.11.007>
- Soto Rodríguez, K. F. 2020. *Efecto de la acumulación de sargazo en anidación, eclosión y sobrevivencia de tortugas marinas de Quintana Roo.* Universidad Autónoma de Querétaro.
- Sparling, D. 2016. *Ecotoxicology Essentials. Biological Effects on Animals and Plants.* Elsevier.

- Talavera, A. L. 2010. *Evaluación de metales pesados en hembras y crías de tortuga blanca Chelonia mydas (Reptilia, Cheloniidae) de la costas de Quintana Roo, México* (Tesis de Maestría ). El Colegio de la Frontera Sur.
- Tremblay, N., Ortiz A., A., González J., M., y Rendón-von Osten, J. 2016. *Relationship between organochlorine pesticides and stress indicators in hawksbill sea turtle (Eretmochelys imbricata) nesting at Punta Xen (Campeche), Southern Gulf of Mexico*. *Ecotoxicology*, 26(2), 173–183. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1752-5>
- Tussenbroek, B. I., Hernández Arana, H. A., Rodríguez-Martínez, R. E., Espinoza-Avalos, J., Canizales-Flores, H. M., González-Godoy, C. E., Barba-Santos, M. G., Vega-Zepeda, A., y Collado-Vides, L. 2017. *Severe impacts of brown tides caused by Sargassum spp. on near-shore Caribbean seagrass communities*. *Marine Pollution Bulletin*, 122(1–2), 272–281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.057>
- Valdivia, P. A., Zenteno-Savín, T., Gardner, S. C., y Alonso Aguirre, A. 2007. *Basic oxidative stress metabolites in eastern Pacific green turtles (Chelonia mydas agassizii)*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, 146(1–2), 111–117. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.06.008>
- Walters, C. R., Somerset, V. S., y Pool, E. 2017. *Freshwater crabs Potamonautes spp. (Malacostraca, Potamonautidae) as a model in nanotoxicity Studies*. En: M. Larramendy (Ed.), *Ecotoxicology and Genotoxicology: Non-Traditional Aquatic Models* (pp. 180–195). The Royal Society of Chemistry.
- Zurita, J. 1993. *Tortugas marinas del Caribe*. En: CONABIO/CIQRO (Ed.), *Biodiversidad Marina y Costera de México* (p. 865).



**Cita de artículo:**

Cúmez Caté B. L., V. Labrada-Martagón, N. L. Islas Madrid y Tania Zenteno-Savín. 2022. La tortuga blanca y la perturbación antropogénica en el Caribe Mexicano. Recursos Naturales y Sociedad, 2022. Vol. 8 (1): 39-58. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2022.08.08.01.0003>

*Sometido: 13 de noviembre de 2021*

*Revisado: 11 de enero de 2022*

*Aceptado: 28 de marzo de 2022*

*Editora asociada: MC. Luciana Kingle Ambrosini*

*Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández*