

Ecotoxicología ¿Cómo afecta a las comunidades faunísticas de las playas del Pacífico de Guatemala?

How ecotoxicology affect the fauna on the Pacific Guatemala's beaches?

Jorge Martínez^{1*} 

¹Departamento de posgrado, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA),
Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: jorro_92@hotmail.com

Recibido: 5 de agosto 2021 / Revisión: 20 de marzo 2022 / Aceptado: 5 de mayo 2022

Resumen

La ecotoxicología estudia los efectos de los contaminantes químicos producidos por acción antropogénica en los diferentes ecosistemas. Las playas, son un ecosistema de interés, ya que en estas ocurre una gran cantidad de sedimentación y por lo tanto tienen la capacidad de acumular significativas concentraciones de contaminantes químicos. En Guatemala, las playas del Pacífico son un sujeto ideal para el estudio ecotoxicológico, debido a la fuerte actividad agrícola que ocurre en la parte alta del litoral que causa el uso frecuente de contaminantes químicos. Los contaminantes químicos con más uso son los insecticidas y entre ellos destacan los compuestos organoclorados y el metil paratión, muy utilizados por su alta efectividad en el control de plagas agrícolas. El uso constante de estos compuestos causa que sean depositados en el sedimento que forma las playas, causando que sean absorbidos por organismos de todos los niveles tróficos, desde productores primarios como plancton hasta consumidores secundarios como reptiles. Regular el uso de estos compuestos es de interés común, debido a los impactos negativos que pueden acarrear sobre los ecosistemas costeros en donde ocurre una gran actividad tanto comercial, como recreativa por parte de las comunidades costeras. Mitigar el impacto de estos compuestos solo será posible si los actores que inciden en toda el área litoral del Pacífico toman conciencia de la potencial degradación de las playas y la importancia de su función tanto para las actividades antropogénicas diarias como para la convergencia ecológica de las múltiples especies que dependen de las mismas para su supervivencia.

Palabras claves: Contaminación química, toxicología, ecosistemas costeros, agroindustria

Abstract

Ecotoxicology studies the effect of chemical pollutants produced by anthropogenic action on different ecosystems. Beaches are an ecosystem of interest, since a large amount of sedimentation occurs on these places and therefore they have the capacity to accumulate significantly higher concentrations of chemical pollutants compared to terrestrial or aquatic ecosystems. In Guatemala, the beaches in the Pacific coast are an ideal subject for ecotoxicological studies, due to the strong agricultural activity occurring in the highlands that produces a great amount of chemical pollutants and the by-products end up in the beaches as a consequence of pluvial and rivers runoff activity. The most widely used chemical are insecticides and among them, organochlorine compounds and methyl parathion stand out, widely used in part, due to their high effectiveness in pest control. The constant use from these compounds causes them to be absorbed by organisms in all trophic levels, from primary producers to secondary consumers. Regulating the use of these compounds is of common interest, because of the negative impacts on coastal ecosystems where there occurs great commercial and recreational activity from coastal communities. Mitigating the impact of these compounds will only be possible if actors influencing the Pacific littoral area, become aware of the potential beach destruction and the importance of their function both for daily anthropogenic activities and ecological convergence of multiple species that depend on the beaches for their survival.

Keywords: Chemical contamination, toxicology, coastal ecosystems, agroindustry

Introducción

La ecotoxicología es un término relativamente nuevo y hace referencia a la toxicología ambiental. El término, reflejó una creciente preocupación acerca de los contaminantes que el ser humano produce en los ecosistemas costeros y entre estos las playas. El enfoque inicial de esta nueva disciplina fueron los efectos nocivos de químicos en el contexto de la ecología (Walker et al., 2012). Por lo tanto, se puede definir como el estudio de los efectos nocivos de los productos químicos sobre los ecosistemas, incluyendo la detección y determinación de los efectos en organismos individuales y efectos consecuentes a nivel de poblaciones y comunidades (Walker et al., 2012). La importancia de estudiar la ecotoxicología radica en determinar las cantidades de residuos químicos que son depositados en los ecosistemas, como en el suelo, cuerpos de agua y atmósfera, exponiendo a los organismos y establecer los niveles dañinos a nivel bioquímico o fisiológico, causando cambios que provoquen efectos adversos en las tasas de nacimiento, crecimiento y mortalidad en las poblaciones. Estos cambios tienen la capacidad de producir declives poblacionales, si no son compensados por otros mecanismos (p.e. alta densidad poblacional) (D'Mello, 2020).

Uno de los ecosistemas con interés para estudiar la ecotoxicología son las playas, ya que estas sirven como barreras entre los fuertes vientos y el oleaje entre el océano y la placa continental (Hatcher et al., 1989). Existe además, un fuerte intercambio de nutrientes en esta zona, gracias a la actividad del oleaje que combina los sedimentos continentales con los marinos. Este intercambio de sedimentos provoca que las playas sean ecosistemas con la capacidad de albergar diferentes organismos y por lo tanto sea una zona en donde ocurre interacción biológica al encontrarse organismos fotosintéticos, macroinvertebrados, aves y reptiles (Ferguson & Johannes, 1975). Al ser ecosistemas costeros someros, las playas están expuestas a la constante sedimentación por parte de los continentes y también a la erosión por parte tanto del océano como de los cuerpos de agua que desembocan en el mismo (Connell & Hawker, 1991). La exposición a la acumulación de sedimentación con presencia de contaminantes químicos en las playas, provenientes de la zona continental

afecta, por lo tanto, a los organismos residentes de las playas como también a los humanos que dependen de estos ecosistemas para su supervivencia y recreación (Farris & Van Hassel, 2007; Peters et al., 1997).

En Guatemala pueden encontrarse los ecosistemas de las playas en todo el litoral del Pacífico, que comprende la zona sur del país limítrofe con el océano Pacífico, en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Ordenamiento Territorial [Segeplan], 2011a). La configuración física se caracteriza por planicies, con territorio de 50 km de ancho a todo lo largo de la costa, con una altitud variable desde el nivel del mar hasta 550 metros, en donde se mezcla ya con el macizo montañoso de la boca costa (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar [Iarna-URL], 2012). Esta región se forma por la deposición de material de origen volcánico proveniente del altiplano dando origen a playas arenosas (Iarna-URL, 2012).

Actualmente la región se caracteriza por su intenso uso agropecuario y agroindustrial (cerca del 61%), destinado a cultivos de agro exportación, por lo que el uso intensivo de contaminantes químicos es una práctica muy común con el fin de mantener la alta productividad (Soler, 2011). Estos contaminantes son arrastrados y depositados en las playas del Pacífico en conjunto con los sedimentos naturales arrastrados tanto por las cuencas hidrálicas como por las lluvias frecuentes del área (Segeplan, 2011b). Esto causa una contaminación toxicológica imperceptible a simple vista, pero de la cual se conoce causa un impacto negativo sobre las playas, teniendo una comprensión muy pobre de los efectos reales y el alcance de estos hacia otros ecosistemas marino-costeros (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, et al., 2009). Por lo tanto, basado en estas ideas, el presente trabajo pretende identificar los principales contaminantes químicos responsables de la ecotoxicología presente en las playas del Pacífico de Guatemala y como estos afectan a las comunidades de la fauna que allí converge. También se pretenderá proponer soluciones viables para mitigar los efectos toxicológicos sobre dicho ecosistema.

Contenido

Componentes bióticos y abióticos de las playas del Pacífico de Guatemala

Las playas del Pacífico de Guatemala tienen un origen volcánico, gracias a la cadena volcánica del altiplano del país (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2018). Al ser el material volcánico arrastrado y sedimentado en el litoral Pacífico, estos dan origen a playas arenosas y ricas en minerales (Segeplan, 2011a). En las playas pueden encontrarse dos regiones. La primera es la zona intermareal, corresponde a la porción de la playa que se une con el mar. Se encuentra frecuentemente inundada por el efecto de las olas y el viento. También pueden encontrarse las dunas, que es la parte de la playa en donde no penetra el agua de mar. En cada región ocurre la presencia de organismos particulares. En la zona intermareal pueden encontrarse organismos microscópicos fotosintéticos, macroinvertebrados que van desde organismos sencillos como poliquetos hasta más complejos como moluscos o crustáceos (Castro & Huber, 2007).

En las zonas intermareales al ser de transición, convergen múltiples factores como el arrastre de nutrientes, el cambio de mareas y cambios de temperatura, que las hacen zonas de alta diversidad y por lo tanto, es común encontrar una alta heterogeneidad de especies de los organismos antes mencionados (Castro & Huber, 2007). En las dunas es más frecuente encontrar organismos más complejos, como vegetación vascular, aves, que buscan refugio en los árboles y reptiles como tortugas, que utilizan esta porción de la playa para el desove (Castro & Huber, 2007).

En cuanto a los factores fisicoquímicos de las playas, la salinidad, la temperatura y el sedimento son de los factores más importantes (Prado, 2002). Las playas del Pacífico presentan temperaturas en rangos que varían desde 21.9 °C hasta 31.9 °C. La salinidad es generalmente de 35.2%.

La temperatura afecta la distribución de organismos faunísticos y sus ciclos reproductivos, así como comunidades de macroinvertebrados que se desarrollan en una temperatura óptima por debajo de los 35 °C (Segeplan, 2011b). En los moluscos, por ejemplo, la temperatura es determinante para su distribución, como se ha demostrado en algunas especies cuyas poblaciones se separan biogeográficamente por las variaciones de temperatura (Prado, 2002). En orga-

nismos más complejos como tortugas que desovan en las playas, se conoce que la temperatura superficial, es fundamental para la supervivencia de los embriones y para la determinación de sexos de la población (Segeplan 2011b).

La salinidad presente en las playas, favorece la colonización por parte de especies de poliquetos que presentan un amplio rango de tolerancia a salinidad desde 25-100% gracias a regulaciones osmóticas (Prado, 2002). En otros organismos como crustáceos, la salinidad afecta sobre todo en el crecimiento y supervivencia (Arapis et al., 2004). Existe una mejor adecuación por parte de los crustáceos cuando los valores de la salinidad varían entre 15% a 21% de salinidad. En el caso de moluscos, los cambios bruscos de salinidad afectan la fisiología y morfología. Causando estrés fisiológico y debilitamiento de las conchas (Arapis et al., 2004).

Amenazas que afrontan las playas, ligadas a la ecotoxicología

La economía de Guatemala se basa principalmente en actividades agrícolas, lo que provoca el uso intensivo de pesticidas y otros productos químicos para mejorar la productividad (Alfaro, 2006). Los contaminantes químicos en el ambiente presentan problemas por el riesgo que supone su uso en la contaminación de los ecosistemas vulnerables, como lo son las playas guatemaltecas. El riesgo potencial del daño aumenta debido a que en muchos casos ni siquiera se cumplen con las mínimas medidas de seguridad para mitigar el impacto negativo del uso de estos productos (Alfaro, 2006). Los pesticidas son los mayores contaminantes toxicológicos. Sumado a esto, la logística e infraestructura poco desarrollada para el tratamiento de estos productos, combinado con una pobre ejecución de las normas de seguridad de desechos ambientales tienen el potencial de desarrollar efectos nocivos en los organismos costeros que ocupan las playas, tanto en la porción de las dunas como en la zona intermareal, en donde el impacto en estos ecosistemas ha sido ignorado (Duarte & Caçador, 2020). La cantidad de estudios que se ha realizado en Guatemala han sido pocos, realizados por las principales Universidades del país y por empresas privadas dedicadas al estudio toxicológico en el ambiente (International Coordination Group [ICG], 2018).

Los productos de origen químico en Guatemala tienen una relativa historia reciente, ya que se introducen en la región en la década de 1950 y para 1977 se

utilizaban al menos 8.5 millones de kilogramos únicamente en la costa sur para mantener sanas las plantaciones de algodón (Castillo et al., 1997). Guatemala es el principal productor y consumidor de productos de origen químico en Centroamérica, siendo los insecticidas el producto con mayor demanda (Elías Ogáldez et al., 2014). Uno de los insecticidas más populares han sido los compuestos organoclorados, ampliamente utilizados debido a su alta capacidad para controlar plagas (Elías Ogáldez et al., 2014). Otros productos que se utilizan en la industria son los bipiridilos, carbamatos, compuestos órgano-estánicos, organofosforados, organomercuriales, triazinas, piretroides, piretrinas, tiocarbamatos y derivados de ácido fenoxiacético, cumarínicos y de cloronitrofenol (Godoy Alarcón, 2018).

La sedimentación de los residuos de los productos químicos, resulta ser altamente nociva para la zona intermareal, ya estos, al ser arrastrados por cuerpos de agua o por efectos de la lluvia y viento, son depositados en el sedimento arenoso (Blasco et al., 2016). Al formar parte del sedimento, los residuos se acumulan y logran intercambiarse con el medio marino gracias al efecto del oleaje, permitiendo su ingreso al océano (Blasco et al., 2016). En la zona intermareal, la fuerza de las olas acarrea nutrientes que forman parte del sedimento, a su vez atraen a macroinvertebrados como moluscos, crustáceos, plancton y poliquetos, que estos a su vez atraen organismos más complejos como aves y herpetofauna que se alimentan de estos recursos (Jacquin et al., 2019). La sedimentación en las playas, al tener la capacidad de almacenar nutrientes, contribuye a la acumulación de la biomasa en los organismos intermareales que se aprovechan de dicha área y en esta biomasa ocurre la acumulación de residuos químicos (Jacquin et al., 2019).

El uso constante y desmedido de los productos químicos utilizados por la industria contribuye a la contaminación de las playas del Pacífico de Guatemala, acarreando serias consecuencias, al contribuir al almacenamiento de los mismos en los tejidos de los organismos residentes de dichas áreas, provocando pérdida de la diversidad biológica de la que dependen las comunidades antropogénicas para la supervivencia y para la recreación (Alfaro, 2006).

Efectos potenciales de los contaminantes sobre el ecosistema y la fauna

La acumulación de contaminantes químicos en el sedimento de las playas, puede causar cambios en la fisiología de los organismos e incluso una elevada mortandad que puede a su vez afectar las tasas de reproducción y reclutamiento de las especies resultando en una cascada de pérdida de diversidad dentro del ecosistema (Braunbeck et al., 1998).

La descarga excesiva de los contaminantes químicos que ocurre en el litoral del Pacífico afecta la composición orgánica de los sedimentos en las playas, así como el nivel de pH, lo que los hace efectivos para el secuestro potencial de todos los residuos químicos, que terminan siendo inmovilizados en un medio que resulta anóxico (Wang et al., 2019). Al quedar los residuos químicos en los sedimentos, organismos fotosintéticos pueden absorberlos y transportarlos, incorporándolos dentro del ecosistema, haciéndolos parte de las cadenas tróficas afectando todos los niveles de organismos causando una magnificación biológica, en la que la acumulación de los residuos pueden llegar a ser hasta de un millón de veces superior en los organismos depredadores con respecto de los niveles registrados en el agua (Johnson et al., 1971). Los contaminantes también pueden ingresar a los ecosistemas por medio de la respiración.

Los primeros organismos que se ven afectados son los herbívoros, detritívoros y filtradores, sobre todo en los moluscos en donde organismos de la Clase Bivalva han demostrado almacenar contaminantes (Wang et al., 2019). Además del riesgo de almacenar estos residuos, los Bivalvos expuestos a residuos organoclorados han demostrado durante la reproducción, que las larvas se deforman, aumentando la tasa de mortalidad y las que logran llegar a un estadio adulto tienen conchas más pequeñas, delgadas y frecuentemente deformes con relación a sus antecesores (Byrne, 2012). También parece ser que las tasas de crecimiento se ven disminuidas, siendo más lento el proceso y muchas veces ocurre una reducción en la supervivencia de la metamorfosis entre larva y adulto. Otros moluscos como los gasterópodos han demostrado una metamorfosis

y crecimiento reducido, al ser expuestos a toxafeno y compuestos metilados, así como una disminución en su metabolismo. Esto puede suponer una importante amenaza a la vida costera, ya que, si estos organismos se ven alterados de tal manera, significa que se está creando una presión mayor de la que estos pueden tolerar y por lo tanto, la presión sobre las playas puede llegar a un punto de colapso, ya que los gasterópodos son importantes al ser consumidores primarios y son elementos angulares tanto en sus ecosistemas como en la escala de la cadenas tróficas (Raisuddin et al., 2007).

Invertebrados de otros grupos como crustáceos han demostrado que, al ser expuestos a residuos organoclorados o metil paratión, han presentado problemas en la fertilización, afectando la metamorfosis, el crecimiento, la tasa de mortalidad larval y el metabolismo en el estadio larval (Byrne, 2012). En poliquetos se ha reportado que la eclosión es la que principalmente se ve afectada al verse reducida e incluso inhibida (Raisuddin et al., 2007). El problema que representa la presión en todos estos organismos, al reportarse desarrollos anormales es que las poblaciones con cada generación pierden adecuabilidad a su entorno, lo que podría representar un colapso de los ecosistemas costeros, no sólo las playas o la zona intermareal, al eliminarse los elementos que los conforman (Josende et al., 2019). Otra desventaja que podría presentarse al presionar por ejemplo a crustáceos o gasterópodos, es que estos cumplen funciones de depredadores controlando a poblaciones y manteniendo cierto orden ecológico (Josende et al., 2019). En otro contexto, si se ven afectadas las poblaciones de invertebrados filtradores, pueden disminuir su capacidad de filtración, haciendo que las playas se vean más concentradas con partículas libres en la columna de sedimento, disminuyendo la cantidad de agua que se puede filtrar, reduciéndose la cantidad de oxígeno que ingresa en la columna y por ende disminuir la productividad primaria (Josende et al., 2019).

En organismos superiores como *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz, 1829), expuestos a metil paratión, propanil u organoclorados, se ha reportado desarrollo anormal de los individuos juveniles, por lo que afecta la tasa de reclutamiento (Cortés-Gómez et al., 2018). Estos grupos, que son consumidores secundarios, han demostrado ser agentes patógenos ya que al alimentarse transportan los contaminantes a diferentes ecosistemas marinos (Cortés-Gómez et al., 2018). En aves se han reportado en las etapas embrionarias la acumulación de los químicos organoclorados. Como consecuencia de la actividad química, se ha reportado

que los huevos de estos grupos son más delgados y como consecuencia los individuos sufren en la etapa embrionaria, un mal desarrollo, lo que resulta en malformidades para aquellos que logran eclosionar ya que ocurre también retraso en la eclosión y tasas de mortalidad elevadas (Cortés-Gómez et al., 2018).

Potenciales soluciones o mecanismos para mitigar la ecotoxicología

Para evitar la pérdida tanto de ecosistemas como de diversidad, se deben realizar esfuerzos de mitigación de los contaminantes que desembocan en las playas del Pacífico (Mejía, 2019). Estos esfuerzos deben incluir a los diferentes sectores que causan presión sobre los ecosistemas marino-costeros. Dentro de los esfuerzos de mitigación pueden incluirse talleres de educación ambiental y el abordaje a voluntades para establecer prácticas que disminuyan el estrés sobre el ecosistema y los organismos que habitan (González-Bernat & Clifton, 2017). Las discusiones con diferentes partes involucradas en las consecuencias ecológicas proveen a los actores con opciones para proteger de manera efectiva los recursos naturales mientras se hace un balance de los costos y los beneficios para la sociedad. A pesar de que la mayoría de las evaluaciones de los riesgos ambientales se han realizados en sitios o factores de estrés específicos, los esfuerzos futuros deberán desarrollar estrategias de evaluación en escalas temporales y espaciales más grandes (González-Bernat & Clifton, 2019). Con el fin de comprender cómo los impactos antropogénicos afectan a los numerosos componentes ecológicos involucrados en interacciones de la fauna de las playas del Pacífico de Guatemala a través del tiempo. El valor de comprender cómo la fauna se ve afectada por la contaminación de los recursos ecológicos puede ayudar a determinar cómo responde la estructura de las comunidades y cómo se ve afectado el ser humano (González-Bernat et al., 2019).

Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: JM
 Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: JM
 Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: JM

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: JM
 Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: JM

Materiales supplementarios

Este ensayo no tiene archivos complementarios.

Referencias

- Alfaro, M. E. (2006). *Manual sobre efectos acumulativos en la salud y el ambiente por el uso de plaguicidas en la agroindustria Guatimalteca* [Tesis de Licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1525_IN.pdf
- Arapis, G., Goncharova, N., & Baveye, P. (2004). *Ecotoxicology, ecological risk assessment and multiple stressors*. Springer.
- Blasco, J., Chapman, P. M., Campana, O., & Hampel, M. (2016). *Marine Ecotoxicology: Current Knowledge and Future Issues*. Elsevier.
- Braunbeck, T., Hinton, D. E., & Streit, B. (1998). *Fish Ecotoxicology*. Springer
- Byrne, M. (2012). Global change ecotoxicology: Identification of early life history bottlenecks in marine invertebrates, variable species responses and variable experimental approaches. *Marine Environmental Research*, 76, 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2011.10.004>
- Castillo, L. E., de la Cruz, E., & Ruepert, C. (1997). Ecotoxicology and Pesticides in Tropical Aquatic Ecosystems of Central America. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16, 41-51. <https://doi.org/10.1002/etc.5620160104>
- Castro, P., & Huber, M. E. (2007). *Biología marina* (6.^a ed.). McGrawHill.
- Connell, D. W., & Hawker, D. W. (1991). *Pollution in Tropical Aquatic Systems*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, The Nature Conservancy, & Comisión de análisis de Vacíos del SIGAP. (2009). *Biodiversidad marina de Guatemala: Análisis de vacíos y estrategias para su conservación*. The Nature Conservancy.
- Cortés-Gómez, A. A., Morcillo, P., Guardiola, F. A., Espinosa, C., Esteban, M. A., Cuesta, A., Girondot, M., & Romero, D. (2018). Molecular oxidative stress markers in olive ridley turtles (*Lepidochelys olivacea*) and their relation to metal concentrations in wild populations. *Environmental Pollution*, 233, 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.046>
- D'Mello, J. P. (2020). *A Handbook of Environmental Toxicology: Human Disorders and Ecotoxicology*. CAB International.
- Duarte, B., & Caçador, I. (2020). *Ecotoxicology of Marine Organisms*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Elías Ogáldez, G. A., Castro López, A. M., Tejeda Mazariegos, J. C., & Monthiel Montenegro, A. J. (2014). Determinación de mercurio (Hg) en carne de tiburón *Sphyrna lewini* y *Carcharhinus falciformis*, en el Pacífico de Guatemala (Inf-2014-41). Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación, Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura.
- Farris, J. L., & Van Hassel, J. H. (2007). *Freshwater Bivalve Ecotoxicology*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Ferguson, W., & Johannes, R. E. (1975). *Tropical Marine Pollution*. Elsevier
- Godoy Alarcón, K. I. (2018). *Ánálisis toxicológico y ecotoxicológico de los fungicidas en Guatemala* [Tesis de Licenciatura, Universidad Rafael Landívar]. <http://biblio3.url.edu.gt/publijrcifuent/TESIS/2018/06/03/Godoy-Karla.pdf>
- González-Bernat, M. J., & Clifton, J. (2017). “Living with our backs to the sea”: A critical analysis of marine and coastal governance in Guatemala. *Marine Policy*, 81, 9-20. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.03.003>
- González-Bernat, M. J., & Clifton, J. (2019). A governance analysis of two marine protected areas in the Pacific Region of Guatemala: The Multiple Use Area of Monterrico and the Private Reserve La Chorrera-Manchón Guamuchal. *Marine Policy*, 127, Artículo 103625. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103625>
- González-Bernat, M. J., Clifton, J., & Pauli, N. (2019). Stakeholder perceptions of the social dimensions

- of marine and coastal conservation in Guatemala. *Maritime Studies*, 18, 127-138. <https://doi.org/10.1007/s40152-018-00130-1>
- Hatcher, B. G., Johannes, R. E., & Robertson, A. I. (1989). Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 27, 337-414.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar. (2012). *Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción en riesgo*.
- Interinstitutional Coordination Group. (2018). *Evaluation of factors that cause Land-Use, drivers and agents of deforestation and forest degradation in Guatemala*.
- Jacquin, J., Cheng, J., Odebel, C., Pandin, C., Conan, P., Pujo-Pay, M., Barbe, V., Meistertzheim, A.-L., & Ghiglione, J. F. (2019). Microbial ecotoxicology of marine plastic debris: A review on colonization and biodegradation by the “Plastisphere”. *Frontiers in Microbiology*, 10(865). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00865>
- Johnson, B. T., Saunders, C. R., Saunders, H. O., & Campbell, R. S. (1971). Biological magnification and degradation of DDT and aldrin by freshwater invertebrates. *Journal Fisheries Research Board*, 28(5), 705-709. <https://doi.org/10.1139/f71-099>
- Josende, M. E., Manske, S., Müller, L., dos Santos, W., Gelesky, M. A., Monserrat, J. M., & Ventura-Lima, J. (2019). Multigenerational effects of ecotoxicological interaction between arsenic and silver nanoparticles. *Science of the Total Environment*, 696(15), Artículo 133947. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133947>
- Mejía, A., Gómez-Oliván, L. M., Islas-Flores, H. & San Juan-Reyes, N. (2019). Historial Findings on Presence of Pollutants in Water Bodies in Latin America and Their Ecotoxicological Impact. En Gómez-Oliván, L (Ed.), Pollution of Water Bodies in Latin America (pp. 1-22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27296-8_1
- Peters, E. C., Gassman, N. J., Firman, J. C., Richmond, R.H., & Power, E. A. (1997). Ecotoxicology of Tropical Marine Ecosystems. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(1), 12-40. <https://doi.org/10.1002/etc.5620160103>
- Prado, L. M. (2002). *Estudio comparativo de la densidad y la estructura de la población de la macrofauna benthica de la zona intermareal de tres manglares de la costa pacífica de Guatemala* [Tesis de maestría inédita]. Universidad de Costa Rica.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2018). *Estudio Técnico para el Área de Uso Múltiple Marino-Costera Manchón Guamuchal*. Proyecto Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad en Áreas Protegidas Marino-Costeras (APM). (MARN-CONAP/PNUD-GEF) – Fundación Defensores de la Naturaleza.
- Raisuddin, S., Kwok, K. W. H., Leung, K. M. Y., Schlenk, D., & Lee, J.-S. (2007). The copepod *Tigriopus*: A promising marine model organism for ecotoxicology and environmental genomics. *Aquatic Toxicology*, 83(3), 161-173. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.04.005>
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Ordenamiento Territorial. (2011a). *Diagnóstico Territorial del Litoral del Pacífico Tomo 1*.
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Ordenamiento Territorial. (2011b). *Plan de Desarrollo Integral del Litoral del Pacífico Tomo 2*.
- Solares, T. (2011). *Estrategia nacional de implementación del sistema globalmente armonizado (SGA) en Guatemala. Acuerdo de Cooperación*. USAID-CCAD.
- Walker, C. H., Sibly, R. M., Hopkin, S. P., & Peakall, D. B. (2012). *Principles of Ecotoxicology* (4th ed.). CRC Press Taylor & Francis Group.
- Wang, W., Gao, H., Jin, S., Li, R., & Na, G. (2019). The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. *Ecotoxicology and Environmentak Safety*, 173, 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.113>