



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Campus Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

“METALES PESADOS EN HUEVOS DE TORTUGA LORA
(*Lepidochelys kempii*) Y VERDE (*Chelonia mydas*) Y SU
RELACIÓN CON EL ÉXITO DE ECLOSIÓN”

TESIS

Que para obtener el título de:
**MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y
COSTEROS**

P R E S E N T A:

BIOL. MAR. LAURA ACELA CONTRERAS VEGA

Director

DR. JORGE E. MORALES MÁVIL

Codirector

DRA. MARISELA LÓPEZ ORTEGA

Tuxpan, Veracruz

2016


La presente Tesis titulada “**METALES PESADOS EN HUEVOS DE TORTUGA LORA (*Lepidochelys kempii*) Y VERDE (*Chelonia mydas*) Y SU RELACIÓN CON EL ÉXITO DE ECLOSIÓN**” realizada por la C. Biol. Mar. Laura Acela Contreras Vega, bajo la dirección del Dr. Jorge E. Morales Mávil y con la codirección de la Dra. Marisela López Ortega, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

CONSEJO PARTICULAR:



DR. JORGE E. MORALES MÁVIL
DIRECTOR



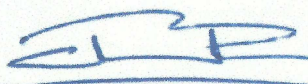
DRA. MARISELA LÓPEZ ORTEGA
CODIRECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver; Septiembre 2016

La presente Tesis titulada: "METALES PESADOS EN HUEVOS DE TORTUGA LORA (*Lepidochelys kempii*) Y VERDE (*Chelonia mydas*) Y SU RELACIÓN CON EL ÉXITO DE ECLOSIÓN" realizada por la C. Biol. Mar. Laura Acela Contreras Vega, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMISIÓN LECTORA:



DRA. CLAUDIA ROMO GÓMEZ

LECTOR



DRA. MARÍA REBECA ROJAS RONQUILLO

LECTOR



DRA. ROSA IDALIA HERNÁNDEZ HERRERA

LECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver; Septiembre 2016



“Grandes viajeras, que por su longevidad merecen mi mayor respeto y admiración, que mientras más leo sobre ustedes, más me sorprenden, ustedes que me apasionan para seguir investigando y esa pasión me lleva cada día más a luchar para su protección y conservación.”

Biol. Marina: Laura A. Contreras Vega



AGRADECIMIENTOS

Primeramente... quiero agradecer a Dios por permitirme concluir satisfactoriamente el presente trabajo.

Agradezco a mi director de tesis, el Dr. Jorge E. Morales Mávil, la confianza brindada durante mi formación; así como, la dirección, el apoyo y los puntos de vista hechos al escrito, lo que permitió la conclusión de este proyecto de investigación.

A mi co-directora, la Dra. Marisela López Ortega, por sus observaciones, sugerencias y por servirme de guía en mi trabajo de laboratorio.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de este posgrado, con No. de registro 297597.

A mi comisión revisora, las Dras. Claudia Romo Gómez, María Rebeca Rojas Ronquillo y Rosa Idalia Hernández Herrera, por sus valiosas aportaciones a este trabajo, que sin lugar a dudas lo enriquecieron.

Al Dr. José Eduardo Terrazas Rodríguez y a los compañeros, Monserrat Altamirano Pavón y Juan Miguel Escorcía Rodríguez, por el apoyo otorgado para el trabajo de laboratorio. Asimismo, a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, Campus Coatzacoalcos, por las facilidades brindadas para tener acceso a las instalaciones y hacer uso de los materiales para el análisis de muestras.

Al laboratorio Agrolab, por su ayuda y colaboración con los análisis de laboratorio de metales pesados.

A todos y cada uno de mis profesores, que durante mi paso en este posgrado aportaron de su conocimiento, que sirvió de base para mi formación... gracias por su paciencia y enseñanzas! En especial al Dr. Arturo Serrano Solís y a la Dra. Celina Naval Ávila, por siempre estar pendiente de mi formación académica, así como sus consejos y amistad brindados.

A la familia Ramón Reyes por todo su apoyo, colaboración y amistad durante mi estancia en el campamento tortuguero R-5. A mis colegas Biólogas Marinas: Ana Laura Alarcon Alarcon, Ana Maria Morales Barragán y Valeria Peña Mendoza por su amistad incondicional, apoyo y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros Biól. Marinos: Ana Maria Morales Barragán y Jared Leyva Hernández; así como a las Biólogas: María Magdalena Santiago Morales, Elizabeth Mendoza Barron, Arlen Ibarra Villanueva, Alejandra Vázquez, Apolinar García Cruz y Ana Karen Martínez Cárcamo. A todos ellos, por su amistad y momentos gratos compartidos, fueron una excelente compañía.... Gracias generación 2013-2015 de Maestros en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros de la Universidad Veracruzana.

A mis amigos y compañeros del Instituto de Neuroetología: Kari, Jazota, Héctor, Toni, Pepe, Dani, Lupita, Paulina, Karem, Laurita, Ozzy, Jazita, por su amistad, compañía y apoyo durante este proyecto.

Por todos los antes mencionados y los que me faltó mencionar y que hicieron posible la realización de este trabajo.

De ante mano... mil gracias!!!

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado especialmente en memoria de

† Higinia Ramírez González

Mujer admirable, a quien siempre respetare y amaré profundamente. Por sus valiosas enseñanzas de vida que forjaron la mujer que ahora soy, pero especialmente por su inmenso amor y dedicación hacia mí. Mil gracias por todo.

Te amo mi Magi!!!

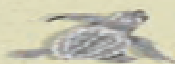
A mis padres, porque una vida no me alcanzará para agradecerles su amor e infinito apoyo. Porque gracias a ustedes ahora comprendo el amor inmenso y desinteresado de un padre, y tengan por seguro que mis logros no habrían podido ser sin ustedes: Aida Vega Ramírez y Reynaldo Contreras.

A mi hermano, gracias por tu apoyo y amor, hoy comprendo que no todos los hermanos son iguales pero sin duda me toco el mejor. Gracias mi negro: Reynaldo Contreras Vega.

A mi familia Vega, porque ustedes son y serán siempre parte importante en mi vida, gracias por su enorme apoyo. No dudo, que todos y cada uno de ustedes donde quiera que se encuentren estarán orgullosos de mí.

A mi inge, por tu apoyo y amor incondicional a lo largo de estos años. Gracias amor: David Pazos Moguel ♥

Con amor, esfuerzo y dedicación... Lau



ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES.....	4
	2.1 ¿QUÉ SON LOS METALES PESADOS?	4
	2.2 FUENTES DE METALES PESADOS	4
	2.3 EFECTOS DE METALES PESADOS EN EL ECOSISTEMA MARINO	5
	2.4 METALES PESADOS Y TORTUGAS MARINAS.....	7
III.	HIPÓTESIS.....	12
IV.	OBJETIVOS.....	13
	OBJETIVO GENERAL	13
	OBJETIVOS PARTICULARES	13
V.	ÁREA DE ESTUDIO	14
VI.	MATERIAL Y MÉTODOS	16
	6.1 TRABAJO DE CAMPO	16
	6.2 TRABAJO DE LABORATORIO.....	19
	6.3 ANÁLISIS DE DATOS.....	20
VII.	RESULTADOS	21
	7.1 CONCENTRACIÓN DE METALES EN <i>L. kempii</i>	21
	7.2 CONCENTRACIÓN DE METALES EN <i>C. mydas</i>	23

7.3 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES ENTRE LAS DOS ESPECIES DE TORTUGA MARINA.....	24
7.4 ÉXITO DE ECLOSIÓN.....	26
VIII. DISCUSIÓN.....	29
IX. CONCLUSIONES.....	39
X. RECOMENDACIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS.....	40
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	43
XII. ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración (mg/kg) de metales pesados en huevos de <i>L. kempii</i> ..	21
Cuadro 2. Concentración (mg/kg) de metales pesados en huevos de <i>L. kempii</i> ..	22
Cuadro 3. Concentración (mg/kg) de metales pesados en huevos de <i>C. mydas</i> .	23
Cuadro 4. Metales pesados y sus concentraciones (media \pm DS mg/kg) encontradas en las dos especies de tortugas marinas. Los metales Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd y As no fueron analizados para <i>C. mydas</i> .	25
Cuadro 5. Número total de huevos puestos por nido y número de crías por nido de <i>L. kempii</i> . D= Depredado.....	26
Cuadro 6. Número total de huevos puestos por nido y número de crías por nido de <i>C. mydas</i> . D= Depredado.....	27
Cuadro 7. Porcentajes de éxito de eclosión por nido en tortuga <i>L. kempii</i> y tortuga <i>C. mydas</i> .	27
Cuadro 8. Valores de correlación de los niveles de metales encontrados respecto al éxito de eclosión para <i>L. kempii</i> .	28
Cuadro 9. Valores de correlaciones entre los metales encontrados respecto al éxito de eclosión para <i>C. mydas</i> .	28
Cuadro 10. Normas Mexicanas para Límites Máximos Permisibles en metales pesados.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio que comprende la extensión de playa a cargo del campamento R-5 (Modificado de Contreras, 2013). 15

Figura 2. Distribución de todos los nidos trabajados durante la temporada anidatoria 2014 para *L. kempii* y *C. mydas* en playa Villamar..... 17

RESUMEN

La contaminación por metales pesados en los ecosistemas marinos se ha incrementado en los últimos años. Por ello, es importante monitorear el estado en el que se encuentran diversos organismos marinos, tal es el caso de las tortugas marinas. Si las hembras de tortugas marinas llegan a contaminarse por metales durante su alimentación, puede llegar a presentarse una bioacumulación y transmitir esa contaminación a su progenie, con efectos directos sobre la nidada. El objetivo del presente trabajo fue determinar los niveles de metales pesados en huevos de las tortugas marinas *L. kempii* y *C. mydas* que anidan en la playa Villamar, en el municipio de Tuxpan, al norte del estado de Veracruz. Se realizaron monitoreos diurnos de abril a junio para *L. kempii* y nocturnos de junio a septiembre para *C. mydas* durante la temporada anidatoria 2014, recolectando un huevo por nido, de diez nidos por cada especie. Los análisis de los huevos se hicieron de manera individual, donde los metales fueron determinados por medio de espectrofotometría de absorción atómica. Se detectaron 14 metales pesados: Fe, Pb, Ni, Co, Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd, As, Pt y Pd. De los cuales Fe, Pb, Ni, Co, Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd y As se reportaron para *L. kempii*, sin diferencias significativas en la concentración entre nidos (Kruskal Wallis, Chi Sqr.= 5.0; $p=0.2873$). El metal de mayor concentración fue el Zn (5.213 mg/kg), mientras que los valores más bajos fueron para Cr (0.0082 mg/kg) y Cd (0.0047 mg/kg). Para *C. mydas* se detectó Fe, Pb, Ni, Co, Pt y Pd, donde el metal de mayor concentración fue el Fe (1.235 mg/kg), mientras que la concentración más baja fue en Pt (0.023 mg/kg); no se encontraron diferencias significativas en la concentración de metales entre los nidos (Kruskal Wallis, Chi Sqr.= 10; $p=0.35$). Los metales que presentaron en común ambas especies de tortuga fueron Fe, Pb, Ni y Co. Sólo se encontraron diferencias para Ni ($Z=2.269$; $p=0.023$). No se encontró relación entre la concentración de metales y el éxito de eclosión en ninguna de las especies de tortugas. De acuerdo con las Normas Oficiales Mexicanas para metales pesados, las concentraciones encontradas estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles, por lo cual se considera que tanto las hembras anidadoras como sus nidadas, están libres de contaminación por metales pesados en la zona norte del estado.

Palabras clave: Contaminación, metales pesados, *L. kempii*, *C. mydas*, límite máximo permisible, éxito de eclosión.

I. INTRODUCCIÓN

En el Golfo de México se encuentran cinco de las siete especies existentes de tortugas marinas: tortuga caguama (*Caretta caretta*), tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*), tortuga lora (*Lepidochelys kempii*) y tortuga blanca o verde (*Chelonia mydas*) (Márquez, 2004). En la zona norte de Veracruz, las principales especies son *L. kempii* y *C. mydas*, aunque también se ha encontrado ocasionalmente a *E. imbricata* y *C. caretta* (Márquez, 2003; Morales-Mávila *et al.*, 2011).

Actualmente, todas las especies de tortugas marinas se encuentran listadas en la categoría de peligro de extinción en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Se ha mencionado que este riesgo de extinción es debido, principalmente, a la sobreexplotación y la caza incidental, que causan la muerte de estos organismos (Abella, 2010). Sin embargo, el efecto negativo de la contaminación química sobre las tortugas marinas, es también otro factor preocupante (Acosta *et al.*, 2002).

Los metales pesados son uno de los contaminantes químicos que más preocupan, debido a que son bioacumulados y transferidos entre los organismos a lo largo de la cadena trófica, produciendo un efecto de biomagnificación (Ahumada, 1994). En concentraciones altas o muy bajas, los metales pesados pueden causar diversos efectos en los organismos, tales como disminución del ritmo cardíaco, alteraciones a nivel celular como son la inhibición en la síntesis del DNA, la interferencia en la síntesis de la hemoglobina, alteración en la concentración de enzimas de sangre; además de efectos en el crecimiento,

reproducción y desarrollo, afectación de la constitución genética, ya que pueden producir mutaciones genéticas o variaciones cromosómicas. Asimismo, se han descrito alteraciones de la división celular, provocando deformaciones y afectación en la movilidad de gametos (Cross y Rebordinos, 2003).

Los metales se encuentran de manera natural en el ambiente, donde los principales procesos que aportan metales al ecosistema marino son, el intemperismo o meteorización de las rocas, la desgasificación, el vulcanismo terrestre y submarino y los procesos relacionados con los sedimentos marinos (Vázquez-Botello *et al.*, 2004). Sin embargo, la concentración de metales puede incrementarse peligrosamente en el medio a consecuencia de diversas actividades antropogénicas, tales como: la minería, la refinación del petróleo y actividades agrícolas e industriales (Páez-Osuna, 2005a). Muchos de los desechos producidos por estas actividades son vertidos a los cuerpos de agua o directamente al océano, por lo cual los organismos marinos son severamente afectados, entre estos las tortugas marinas (Ehsanpour *et al.*, 2014).

Debido a que en las playas de la zona norte del litoral del estado de Veracruz, llegan a anidar tortugas marinas, y que en esta misma zona existe gran actividad de la industria petrolera, además del desarrollo de la agricultura en donde se aplican grandes cantidades de fertilizantes y aguas negras. Por esto, existe la posibilidad de que las hembras anidadoras lleguen a contaminarse y a incorporar metales pesados a través de la ingesta de alimentos. Ante esta posibilidad, las hembras, podrían transmitir estos metales durante el desarrollo de los huevos, por lo cual nos planteamos las siguientes preguntas: ¿Existe

contaminación por metales pesados en los huevos de las tortugas *L. kempii* y *C. mydas* en playas del norte de Veracruz?, si así es, ¿Puede esta contaminación afectar el éxito de eclosión en estas tortugas?, considerando que estas especies presentan dietas diferentes (carnívora *L. kempii* y herbívora *C. mydas*), el proceso de biomagnificación es diferente también, entonces ¿Será diferente la concentración de metales pesados en los huevos de estas dos especies?

Debido que los metales pesados son bioacumulables y biomagnificables, generar esta información, ayudará a generar conocimiento acerca de la posible contaminación que puedan tener las hembras anidadoras de tortuga marina en el litoral de la zona norte del estado de Veracruz. De esta manera, se podrá contar con elementos que ayuden a estimar si la contaminación por metales está afectando la reproducción y la adecuación biológica de las hembras anidadoras. Además, la comparación entre especies, ayudará a conocer las variaciones en los niveles de contaminación que puedan tener tortugas de hábitos alimentarios diferentes.

II. ANTECEDENTES

2.1 ¿QUÉ SON LOS METALES PESADOS?

Se define como “metales pesados” aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm^{-3} , cuando están en forma elemental. Los metales pesados pertenecen a un grupo de elementos con características similares con un peso atómico que varía entre 63.564 g/mol y 200.590 g/mol (Páez-Osuna, 2005a). Estos elementos son componentes naturales del agua de mar y se encuentran en concentraciones bajas, por lo que son conocidos como oligoelementos o elementos traza. Algunos de estos elementos son esenciales para la vida en bajas concentraciones y su función es catalizar reacciones a nivel bioquímico, tal es el caso de metales como el cobalto (Co), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y zinc (Zn). Otros como el plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), arsénico (As), cromo (Cr), selenio (Se) y estaño (Sn), no tienen funciones fisiológicas reconocidas y aún en concentraciones bajas llegan a ser tóxicos (Ahumada, 1994; Páez-Osuna, 2005a).

2.2 FUENTES DE METALES PESADOS

Los principales procesos que aportan metales al ecosistema marino son el intemperismo o meteorización de las rocas, la desgasificación, el volcanismo terrestre y submarino, los procesos relacionados con los sedimentos marinos y diversas actividades antropogénicas. Los metales llegan al mar a través de diversas rutas que pueden ser mediante aporte pluvial, atmosférico, depositación y numerosas actividades antropogénicas (Acosta *et al.*, 2002; Vázquez-Botello *et al.*, 2004; Páez-Osuna, 2005b).

Los ríos constituyen una principal vía de transporte de metales pesados hacia la zona de costa (Páez-Osuna, 2005a). Las costas con influencia de ríos constituyen uno de los ecosistemas más sensibles a ser afectados, ya que los metales al entrar en contacto con la zona marina, sufren procesos que, junto con algunos factores ambientales, permiten su acumulación en los sedimentos (Acosta *et al.*, 2002).

2.3 EFECTOS DE METALES PESADOS EN EL ECOSISTEMA MARINO

Las concentraciones de metales pueden llegar a considerarse tóxicas para algunas especies, ya que se bioacumulan en sus tejidos corporales (Chiang, 1988). El peligro de los metales representa un alto riesgo a los organismos, debido al proceso de biomagnificación y a las concentraciones encontradas en la columna de agua donde los organismos también se ven expuestos a concentraciones de metales pesados. Además, en su ingreso a las cadenas alimentarias pueden ocurrir procesos de bioconcentración, bioacumulación o biomagnificación hacia los consumidores finales, como el ser humano (Ponce-Velez y Botello, 1991).

Los metales que llegan al mar tienen una serie de transformaciones por factores químicos, físicos y biológicos. Debido al proceso de biomagnificación, algunas concentraciones de metales en depredadores superiores pueden alcanzar niveles superiores a las encontradas en agua o aire (Chiang, 1988). Por lo cual, se pueden producir efectos letales cuando las concentraciones de metales en zonas costeras y estuarinas, alcanzan niveles de diez veces la concentración natural oceánica (Chuecas, 1989).

El posible efecto tóxico que puedan sufrir los organismos por la presencia de exceso de metales, depende en su mayoría de la forma química en la cual se encuentre el metal en el medio (Ávila –Pérez y Zarazúa-Ortega, 1993). Por esto, la toxicidad y el destino del metal, dependerán en particular de la fisiología del organismo, como es el caso de varios crustáceos, donde la concentración de Cu es independiente de la contaminación del sitio de muestreo (Amiard *et al.*, 1987).

En el caso del fitoplancton, las altas concentraciones provocan desbalances metabólicos (Rodríguez y Rivera 1995). Por ejemplo, cuando el fitoplancton es expuesto a concentraciones elevadas de metales pesados, se produce una inhibición del crecimiento. De igual manera, se producen cambios morfológicos, como una respuesta fisiológica a la exposición del metal (Visviki y Rachlin 1994).

Por lo tanto, la entrada de un metal es metabólicamente disponible, al menos hasta que la fisiología del organismo lo excreta o se une a alguna molécula de alta afinidad. En la mayor parte de los invertebrados, la mayoría de los metales se acumulan en proporción a disponibilidades del ambiente (Rainbow, 2002).

En el caso de los moluscos, el exceso de metales ocasiona alteraciones de la división celular y del contenido cromosómico (Cross y Rebordinos, 2003). Por otro lado, en los erizos de mar, las altas concentraciones de Zn, Ni y Mn causan malformaciones esqueléticas en embriones (Kobayashi y Okamura, 2004).

Asimismo, en poliquetos, las cantidades excesivas de metales inhiben la fertilidad, así como la disminución del número de organismos en desarrollo y bloquean completamente el desarrollo del embrión en cualquier etapa. Todos los organismos reaccionan de manera diferente a los metales, ya que en

concentraciones que para algunas especies son altas, para otras pueden considerarse bajas (Amiard *et al.*, 1987).

2.4 METALES PESADOS Y TORTUGAS MARINAS

Debido a que las tortugas marinas están presentes en una variedad de hábitats, tienen una amplia distribución, presentan gran longevidad y tienen fidelidad a sitios específicos, se ven expuestas a contaminantes tóxicos (Aguirre y Lutz, 2004; Gardner *et al.*, 2006; García, 2011). Pueden adquirir contaminantes de diversas fuentes, como los alimentos que ingieren, los sedimentos donde forrajean, las aguas donde nadan e inclusive de la aspiración de tóxicos volátiles (Ehsanpour *et al.*, 2014).

Algunos metales son muy tóxicos y pueden ser bioacumulados al paso del tiempo en grandes cantidades, lo cual representa un riesgo para las tortugas, tanto para los adultos, como para sus huevos y crías. Además, esta bioacumulación se continua hacia sus depredadores, incluyendo el humano, que aunque en México está prohibida la caza de tortugas marinas, en algunos de los países de Centroamérica, aún existe el consumo de huevos y carne (Lam *et al.*, 2006).

Se presume que las tortugas marinas pueden estar consumiendo los alimentos contaminados por desechos de la industria, lo cual provoca la acumulación en sus tejidos (Naglee, Rowe y Congdon, 2001). Dentro del proceso de bioacumulación, se ha visto que las tortugas carnívoras tienden a tener mayores niveles de metales pesados que las herbívoras (Storelli, Ceci y Marcotrigiano, 1998; García, 2011).

Los metales que son bioacumulados en tejidos y órganos, afectan negativamente las funciones celulares por la interacción con enzimas sistémicas. Se ha mostrado que esto puede conducir, en organismos marinos, a alteraciones del crecimiento, reproducción y del metabolismo (Jakimska *et al.*, 2011). También pueden afectar el sistema inmunológico, por lo que incrementan la susceptibilidad a padecer enfermedades (Maffucci *et al.*, 2005; Grillitsch y Schiesari, 2010), como es el caso de la fibropapilomatosis (Aguirre *et al.*, 1994; Day *et al.*, 2005).

Además, la acumulación de metales pesados en los organismos, llega a alterar diversos sistemas como el endocrino, el reproductivo y el nervioso (Hylland, 2006; Bernake y Köhler, 2008). Por ejemplo, se sabe que el Hg afecta el sistema endocrino y el sistema nervioso, por lo que conduce a la disfunción de la orientación y la osmoregulación. Asimismo, algunos metales son potentes neurotóxicos, especialmente metales como: Al, Cd, Hg y Mn (Grillitsch y Schiesari, 2010).

A nivel genético, los metales pesados también llegan a afectar, el Cd puede conducir cambios en el material genético a través de la interacción directa con el ADN, ARN y la síntesis de ribosomas. La exposición crónica a este metal, provoca efectos nocivos sobre las células, gametos y embriones, causando desarrollo anormal y mutaciones hereditarias (Grillitsch y Schiesari, 2010). Asimismo, a nivel reproductor, los metales pueden alterar significativamente la unión de los esteroides (como la testosterona y estradiol) a las proteínas plasmáticas (Ikonopoulou *et al.*, 2009).

Se ha evidenciado que los metales influyen negativamente en el periodo de incubación de los nidos, ya que en esta etapa pueden absorber contaminantes del medio donde se encuentran depositados. Esto puede contribuir a malformaciones en embriones y crías, así como el aumento de mortalidad temprana en etapa juvenil de tortugas marinas (Bárceñas y Maldonado, 2009). Por ejemplo, durante la incubación, el Zn puede afectar el crecimiento y el desarrollo del tejido de embrión, mientras que el Cd, Hg y Pb, son particularmente tóxicos en este periodo clave del desarrollo (Wolfe, Schwarzbach y Sulaiman, 1998). De igual manera, durante las primeras fases embrionarias, el Cd puede afectar la formación de los órganos internos (Storelli *et al.*, 2005). También se ha registrado que el Cu y el Fe afectan el cerebro y las glándulas de sal (Caurant *et al.*, 1999). Mientras que el Ni contribuye a la mortalidad y a alteraciones en el desarrollo de los embriones (Saeki *et al.*, 2000; Barbieri, 2009).

Algunas anomalías del desarrollo, como albinismo y malformaciones de pico y escudos, son comunes en embriones de tortugas marinas que no sobreviven a la incubación. Estas anomalías se atribuyen a factores genéticos, pero no se descarta la contribución de los metales pesados, que también pueden afectar la integridad genética (Camacho, 2013). La exposición a estos elementos, causa una reducción en la sobrevivencia de embriones y causa anomalías en las crías (Bárceñas y Maldonado, 2009). En algunos casos, aunque se lleve a cabo una incubación exitosa, la exposición a los metales pesados puede influir en el rendimiento de los individuos (Grillitsch y Schiesari, 2010).

Debido a que las tortugas marinas están catalogadas como especies en peligro de extinción, está estrictamente prohibido sacrificar ejemplares. Por lo que una alternativa para estimar la acumulación de metales pesados, es a través de organismos muertos, muestras de sangre o la puesta de huevos, ya que las tortugas marinas suelen ovopositar en promedio 100 huevos por nidada y anidar varias ocasiones dentro de una misma temporada (Sakai *et al.*, 1995). De esta manera, se han detectado metales pesados analizando muestras de tejidos (Franzellitti *et al.*, 2004; Lam *et al.*, 2004), sangre (Day *et al.*, 2005; Day *et al.*, 2007) y huevos (Sakai *et al.*, 1995; Guirlet, Das y Girondot, 2008).

Al considerar los huevos, se debe tomar en cuenta que la energía y los componentes químicos contenidos en los folículos que forman el huevo, se derivaron del alimento consumido. Por lo tanto, los análisis sobre huevos reflejan la situación de las áreas de forrajeo y los niveles de metales contenidos en las hembras, más no los de las áreas de anidación (García, 2011).

Dentro de las muestras en huevo una de las principales especies analizadas a nivel mundial es la tortuga *C. caretta*; donde se han registrado metales como Cd, Pb, Fe, Cu, Zn, Al y Sr (Sakai *et al.*, 1995; Kaska y Furness, 2001). Asimismo, en la tortuga *C. mydas* se han registrado Pb, Ni y Co, en albúmina, yema y cascarones; mientras que Cd, Fe, Mn, Zn y Hg, se han detectado principalmente en yema (Sakai *et al.*, 1995, Lam *et al.*, 2006).

Para la tortuga *D. coriacea*, Guirlet, Das y Girondot (2008) encontraron en la etapa anidatoria, altas concentraciones de Cu, Zn, Se, Cd, Pb y Hg, aunque mayor concentración de elementos esenciales (Cu y Zn). En cambio, para la tortuga *E.*

imbricata, los metales que se han detectado son Cd, Cu, Zn, Pb y Hg, con mayor concentración de Cu y Pb en la yema (Ehsanpour *et al.*, 2014). Asimismo, para *N. depressus*, la tortuga marina endémica de Australia, se ha detectado metales como Cr, Mg, As y Se (Ikonomopoulou *et al.*, 2011).

En México, existen pocos estudios que muestren contaminación por metales pesados en tortugas marinas, la mayor parte se han realizado en la zona del Pacífico. Se han registrado concentraciones en la yema de huevos de *L. olivacea*, con mayores concentraciones de Zn, Pb y Hg (Páez-Osuna *et al.*, 2010a; Páez-Osuna *et al.*, 2010b; Páez-Osuna *et al.*, 2011). Asimismo, se reportan concentraciones de Cd, Ni y Zn, en cáscaras de huevo de *D. coriacea*, aunque en niveles menores a las encontradas en muestras de arena (Vázquez *et al.*, 1997).

Como muestran los antecedentes, los metales pesados pueden causar graves daños si llegan a presentarse en concentraciones elevadas en los organismos. Las tortugas marinas son especies en peligro de extinción y especialmente en el estado de Veracruz, llegan a anidar de manera importante, especies como *L. kempii* y *C. mydas*. Conocer cuál es el nivel de contaminación que guardan estas tortugas a través del análisis de metales pesados de sus huevos, ayudará a estimar las condiciones que mantienen las hembras que llegan a anidar a las playas veracruzanas, después de sus recorridos por las aguas del Golfo de México, particularmente de la zona norte.

III. HIPÓTESIS

Huevos de tortugas marinas depositados en la playa Villamar en el norte del estado de Veracruz, contendrán metales pesados, lo cual afectará el éxito de eclosión. Por lo cual se predice que;

- a) Los nidos con huevos contaminados por metales pesados en concentraciones mayores a las normales, tendrán menor porcentaje de eclosión que aquellos que no registren contaminación.
- b) Las concentraciones de metales pesados serán mayores en los huevos de la especie con tendencia carnívora (*L. kempii*) que en los de la especie herbívora (*C. mydas*).

IV. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar las concentraciones de metales pesados en los huevos de tortugas marinas *L. kempii* y *C. mydas* y su relación con el éxito de eclosión.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Conocer la concentración de metales pesados en huevos de nidos de las especies *L. kempii* y *C. mydas*.
- Determinar si las concentraciones de metales pesados son diferentes en los huevos de *L. kempii* y *C. mydas*.
- Estimar el éxito de eclosión en nidos de *L. kempii* y *C. mydas*.
- Conocer si existe relación entre la concentración de metales pesados de los huevos y el éxito de eclosión en *L. kempii* y *C. mydas*.

V. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se llevó a cabo en la playa correspondiente al campamento R-5, ubicado en la localidad de Villamar en el municipio de Tuxpan, Veracruz (Figura 1). Esta playa presenta una extensión de 19 km y una altura media de 10 msnm (Santiago, 2010; Contreras 2013).

El tipo de costa es variable, con tramos discontinuos de playas arenosas que alternan con costa rocosa y depósitos de conchas marinas en las orillas, que dan una tonalidad café claro a algunos sitios. Los escurrimientos de ríos y arroyos de bajo caudal son muy frecuentes a lo largo de la extensión de playa. En temporada de lluvia, es común encontrar otros escurrimientos provenientes de los terrenos colindantes a la línea de costa. Estos escurrimientos aportan gran cantidad de palizada, basura y diversos desechos antropogénicos hacia la zona de playa (Santiago, 2010; Cobos, 2012).

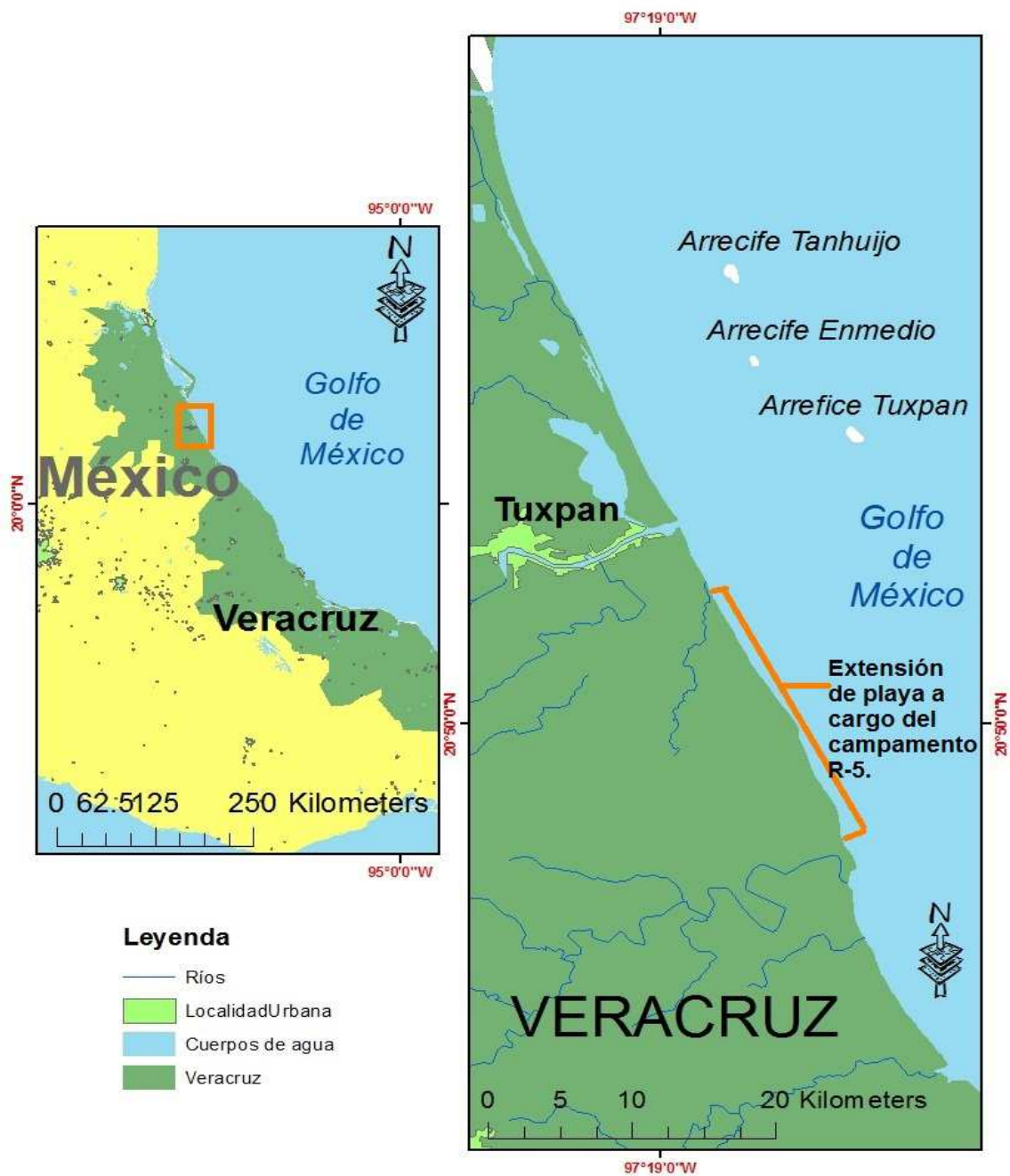


Figura 1. Localización geográfica del área de estudio que comprende la extensión de playa a cargo del campamento R-5 (Modificado de Contreras, 2013).

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1 TRABAJO DE CAMPO

Este estudio fue realizado con el respaldo del permiso de colecta científica de la Dirección General de Vida Silvestre de la SEMARNAT: SGPA/DGVS/12334/15, ya que las tortugas marinas son especies protegidas por las leyes mexicanas.

Se realizaron monitoreos diurnos de abril a junio de 2014, para la búsqueda de nidos de *L. kempii*, y nocturnos de junio a septiembre para los nidos de tortuga verde *C. mydas* en la playa de Villamar. Una vez encontrado un nido, se georreferenció con ayuda de un geoposicionador global (GPD Garmin). La distribución de los nidos de las dos especies de tortugas se mostró bien definida, con una marcada separación de los nidos de *L. kempii* sobre la zona norte y de *C. mydas* para la zona sur (Fig. 2).



Figura 2. Distribución de todos los nidos trabajados durante la temporada anidatoria 2014 para *L. kempii* y *C. mydas* en playa Villamar.

Una vez localizado el nido, se procedió a excavar y sacar los huevos para contarlos. Posteriormente se colectó un huevo por nido, de diez nidos por cada especie de tortuga. Los huevos recolectados fueron almacenados individualmente en bolsas de plástico ziploc, anotando la especie, fecha y el número de nido

correspondiente. Cada bolsa fue guardada en una hielera con geles refrigerantes, para trasladarlas al laboratorio para su posterior procesamiento.

Una vez realizado el conteo general de huevos, el resto fue reincorporado al nido, para después colocar sobre éste un trozo de malla metálica (1m x 1m) a manera de protección, para evitar la depredación. Posteriormente, el nido fue cubierto con arena y marcado para su ubicación, utilizando una cinta flagging atada a una estaca de madera, donde se anotó con plumón indeleble la fecha, especie y número de nido.

Se dio seguimiento a los nidos marcados, hasta esperar la eclosión de las crías (alrededor de 45 días, Márquez, 2003). Se consideró éxito de eclosión de acuerdo a Miller (2000):

$$\text{Éxito de eclosión (\%)} = \frac{\text{\# cascarones}}{\text{\#cascarones} + \text{\#HSDA} + \text{\#HNE} + \text{ETNE} + \text{\#D}} \times 100$$

C = Cascarones

HSDA = Huevos sin desarrollo aparente

HNE = Huevos no eclosionados

ETNE = Embriones a término no eclosionados

D = Depredados

6.2 TRABAJO DE LABORATORIO

Los huevos colectados fueron lavados con agua desionizada para eliminar cualquier tipo de residuo que pudiera alterar el análisis. Posteriormente fueron descongelados a temperatura ambiente en un vaso de precipitado. De cada huevo se retiró el cascarón y se homogeneizó yema y albúmina, mezclándolas con un agitador de vidrio en un vaso de precipitado. Se utilizó la técnica de "vía seca", en donde las muestras fueron colocadas en una estufa eléctrica a una temperatura de 70°C aproximadamente, hasta obtener peso constante.

Una vez obtenidas las muestras secas, se molieron en un mortero y se sometieron a digestión. La digestión se realizó con 1.0 g de muestra y se le añadió 10mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado.

De cada muestra se realizaron tres réplicas, a una de ellas se le aplicó 0.5 mL del estándar multielemento IPC Analytic Mixtrure 5High Purity Std, para obtener muestra referenciada, también se preparó un blanco de 20 mL de HNO_3 concentrado y un blanco referenciado 20 mL de HNO_3 concentrado y 0.5 mL del estándar multielemento. La digestión se realizó en parrilla evitando la ebullición, hasta que se obtuvo una muestra cristalina. Enseguida se filtró en papel whatman #40, para después aforar a 50mL con ácido nítrico al 5% diluido con agua desionizada. Las muestras fueron almacenadas en frascos de polipropileno y refrigeradas hasta su análisis. Este procedimiento se realizó separadamente con cada uno de los huevos.

Posteriormente, se procedió a la preparación de los estándares con concentraciones de 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1 mg/L del estándar multielemento, para

obtener las curvas de calibración. Finalmente, la concentración de metales fue determinada en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer modelo AAnalyst 400. Debido a problemas logísticos, cinco de las muestras de huevo de *L. kempii* no fueron analizadas para todos los metales, por lo cual, los análisis estadísticos se ajustaron en dos grupos para la comparación con esta especie, un grupo de cinco nidos con análisis de metales completos y un segundo grupo con análisis de metales incompleto.

6.3 ANÁLISIS DE DATOS

Todos los datos fueron analizados en el programa SigmaStat versión 3.5, realizando inicialmente pruebas de Shapiro Wilk para probar normalidad. Se realizaron correlaciones entre la concentración de metales y los porcentajes de eclosión para cada especie de tortuga. Para *L. kempii* se hicieron correlaciones de Pearson para los metales Fe, Ni y Co, mientras que para Pb, Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd y As, se hicieron correlaciones de Spearman. Asimismo, para *C. mydas* se realizaron correlaciones de Spearman para los metales Fe, Pb, Pt, Co y Pd, mientras que para Ni se hizo correlación de Pearson.

Para comparar la concentración de metales entre nidos se utilizaron pruebas de Kruskal Wallis. Para comparar la concentración de metales entre especies se utilizó la prueba de Friedman y coeficiente de Kendall. Para evaluar las diferencias en las concentraciones de metales comunes a las dos especies de tortugas marinas, se realizaron pruebas de Mann Whitney. Todas las pruebas se hicieron con un nivel de significancia del 95%.

VII. RESULTADOS

7.1 CONCENTRACIÓN DE METALES EN *L. kempii*

Los metales fueron analizados en cinco nidos de *L. kempii* y fueron Fe, Pb, Ni, Co, Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd y As. Las mayores concentraciones se encontraron para Zn, con un valor máximo de 5.213 mg/kg, mientras que los valores más bajos fueron reportados para Cr (0.0082 mg/kg) y Cd (0.0047 mg/kg) (Cuadro 1). No se encontraron diferencias significativas en los metales encontrados en los diferentes nidos de *L. kempii* (Kruskal Wallis, Chi Sqr.= 5.0; p= 0.2873).

Cuadro 1. Concentración (mg/kg) de metales pesados en huevos de *L. kempii*.

Metal (mg/kg)	Fe	Pb	Ni	Co	Cu	Mn	Zn	Al	Cr	Hg	Cd	As
Muestra												
Nido 1	0.765	0.31	0.0156	0.038	0.665	0.0277	5.213	0.065	0.011	0.0123	0.0062	0.0146
Nido 2	0.267	0.328	0.0236	0.029	0.088	0.0265	3.224	0.06	0.0082	0.0111	0.0059	0.0092
Nido 3	0.867	0.298	0.0267	0.0487	0.383	0.0276	2.216	0.071	0.0104	0.0135	0.0048	0.0088
Nido 4	0.529	0.332	0.0347	0.059	0.928	0.0823	2.325	0.042	0.0098	0.041	0.0047	0.0089
Nido 5	0.234	0.285	0.0098	0.037	0.933	0.0766	3.046	0.059	0.0095	0.0652	0.0065	0.0079

En los restantes cinco nidos (6-10) de *L. kempii*, sólo se analizaron y registraron: Fe, Pb, Ni y Co (Cuadro 2). De estos, las mayores concentraciones fueron para el Fe (hasta 0.392 mg/kg), mientras que Pb sólo se registró en uno de los nidos, con una concentración de 0.521 mg/kg.

Cuadro 2. Concentración (mg/kg) de metales pesados en huevos de *L. kempii*.

Metal (mg/kg) Muestra	Fe	Pb	Ni	Co
Nido 6	0.392	0	0.052	0.054
Nido 7	0.173	0	0.046	0.056
Nido 8	0.276	0	0.046	0.054
Nido 9	0.375	0.521	0.06	0.061
Nido 10	0.108	0	0.055	0.063

7.2 CONCENTRACIÓN DE METALES EN *C. mydas*

Los metales determinados en *C. mydas* fueron Fe, Pb, Ni, Co, Pt y Pd. El Fe fue el metal que alcanzó la mayor concentración (1.235 mg/kg), mientras que los valores más bajos fueron registrados para Pt (0.023 mg/kg), que junto con el Pb, fueron los metales con menor frecuencia de registro en los huevos, sólo en el 40% de las muestras (Cuadro 3). No se encontraron diferencias significativas en la concentración de metales entre los nidos (Kruskal Wallis, Chi Sqr.= 10; p= 0.35).

Cuadro 3. Concentración (mg/kg) de metales pesados en huevos de *C. mydas*.

Muestra \ Metal (mg/kg)	Fe	Pb	Ni	Co	Pt	Pd
Nido 1	0.339	0	0.04	0.04	0.097	0.069
Nido 2	0.967	0.332	0.079	0.052	0.047	0.06
Nido 3	0.326	0	0.066	0.045	0	0.047
Nido 4	1.235	0	0.086	0.072	0.255	0.108
Nido 5	0.93	0.539	0.04	0.56	0.023	0.049
Nido 6	0.279	0	0.064	0.044	0	0.047
Nido 7	0.314	0.027	0.031	0.043	0	0.053
Nido 8	0.308	0	0.061	0.056	0	0.058
Nido 9	0.177	0.016	0.057	0.051	0	0.125
Nido 10	0.41	0	0.049	0.052	0	0

7.3 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES ENTRE LAS DOS ESPECIES DE TORTUGA MARINA

Se encontraron diferencias en los metales registrados para cada una de las especies de tortugas (Chi-cuadrada = 122.07; $p < 0.01$). Doce metales fueron registrados para *L. kempii* y seis para *C. mydas*. Sólo cuatro metales fueron comunes a las dos especies de tortugas, Fe, Pb, Ni y Co. Las mayores concentraciones de metales pesados se encontraron para Zn (5.213 mg/kg), para la tortuga *L. kempii*. Mientras que para *C. mydas*, el metal de mayor concentración fue el Fe (1.235 mg/kg) y el de menor concentración fue el Pt (0.023 mg/kg).

Los metales Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd y As, se registraron sólo en *L. kempii*; mientras que Pt y Pd sólo en *C. mydas* (Cuadro 4). Las pruebas de Mann Whitney no mostraron diferencias significativas en la concentración de tres metales comunes a las dos especies de tortugas; Fe ($Z = 1.058$; $p = 0.289$), Pb ($Z = 0.929$; $p = 0.352$), Co ($Z = 0.037$; $p = 0.969$). Sólo se encontraron diferencias para Ni ($Z = 2.269$; $p = 0.023$).

Cuadro 4. Metales pesados y sus concentraciones (media \pm DS mg/kg) encontradas en las dos especies de tortugas marinas. Los metales Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd y As no fueron analizados para *C. mydas*.

	Fe	Pb	Ni	Co	Cu	Mn	Zn	Al	Cr	Hg	Cd	As	Pt	Pd
L. kempii	0.399 \pm 0.251	0.207 \pm 0.190	0.0369 \pm 0.0174	0.0500 \pm 0.0115	0.300 \pm 0.399	0.0241 \pm 0.0318	1.602 \pm 1.870	0.0297 \pm 0.0321	0.00489 \pm 0.00520	0.0143 \pm 0.0220	0.00281 \pm 0.00301	0.00494 \pm 0.00551		
C. mydas	0.528 \pm 0.369	0.0914 \pm 0.188	0.0573 \pm 0.0176	0.102 \pm 0.161									0.0422 \pm 0.0812	0.0684 \pm 0.0285

7.4 ÉXITO DE ECLOSIÓN

Para *L. kempii*, el número de huevos depositados promedió 103.8 (intervalo, 70 – 125). Tres de los diez nidos registrados fueron depredados antes de la eclosión. Los siete nidos restantes tuvieron un promedio de eclosión de 41.28 crías (intervalo 20 – 65) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número total de huevos puestos por nido y número de crías por nido de *L. kempii*. D= Depredado.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Numero de huevos	119	84	110	70	125	110	98	108	106	108
Numero de crías	65	D	34	20	48	45	D	D	38	39

El número de huevos por nido para *C. mydas* varió entre 40 y 121 (promedio de 100.5 huevos). Dos de los nidos fueron depredados antes de la eclosión de las crías. Los ocho nidos restantes promediaron 53.75 crías eclosionadas (intervalo, 4 – 78) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Número total de huevos puestos por nido y número de crías por nido de *C. mydas*. D= Depredado.

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Numero de huevos	115	40	108	96	110	112	115	121	96	92
Numero de crías	57	D	D	4	43	61	54	56	77	78

Para *C. mydas*, el porcentaje de eclosión promedio fue de 39.85%, mayor al de *L. kempii* con 29.25%. El 30% de los nidos de *L. kempii* y el 20% de *C. mydas*, fueron depredados (Cuadro 7). El éxito de eclosión no tuvo relación con la concentración de alguno de los metales para ninguna de las especies de tortuga (Cuadro 8 y Cuadro 9).

Cuadro 7. Porcentajes de éxito de eclosión por nido en tortuga *L. kempii* y tortuga *C. mydas*.

Nido	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	MEDIA ± DS
<i>L. kempii</i>	54.62	0	47.36	28.57	38.40	51.69	0	0	35.84	36.11	29.259 ± 21.644
<i>C. mydas</i>	26.01	0	0	15.15	39.63	55.65	46.95	49.61	80.80	84.78	39.858 ± 29.941

Cuadro 8. Valores de correlación de los niveles de metales encontrados respecto al éxito de eclosión para *L. kempii*.

	Fe	Ni	Co	Pb	Cu	Mn	Zn	Al	Cr	Hg	Cd	As
r	0.47	0.014	0.129	0.088	0.006	0.019	0.032	0.072	0.203	-0.046	-0.006	0.072
p	0.171	0.97	0.723	0.785	0.973	0.946	0.919	0.838	0.559	0.892	0.973	0.838

Cuadro 9. Valores de correlaciones entre los metales encontrados respecto al éxito de eclosión para *C. mydas*.

	Fe	Pb	Pt	Co	Pd	Ni
r	-0.565	-0.147	-0.606	0.015	0.147	-0.360
p	0.081	0.656	0.054	0.946	0.676	0.308

VIII. DISCUSIÓN

Los resultados muestran que los huevos de *L. kempii* y *C. mydas* contienen metales pesados, aunque en general, en bajas concentraciones. La presencia de metales en los huevos de las tortugas, sugiere una posible transferencia por parte de las madres. De ser así, las hembras pudieron haber obtenido esa contaminación de tres formas principales: a través de la comida, del agua y por la piel, esta última es la menos frecuente (Caurant *et al.*, 1999; Al-Raway *et al.*, 2007; Innis *et al.*, 2008). Se registró mayor diversidad de metales en *L. kempii*, y es probable que esto se relacione con la dieta carnívora de la especie (Storelli, Ceci y Marcotrigiano, 1998; Day *et al.*, 2005; Páez-Osuna *et al.*, 2010a).

Se encontró variación en la concentración de los distintos metales en los huevos de ambas especies de tortugas. El nivel en el que se acumulan los metales en los organismos, depende de diversos factores, como lo son: la velocidad de absorción, el modo de captación y los procesos metabólicos (Gardner *et al.*, 2006). Las diferencias en la concentración de metales registradas en los huevos, posiblemente se relacione con el nivel de bioacumulación que presentan las hembras anidadoras. Este nivel de bioacumulación es probable que se deba a la edad de las tortugas; es decir, las hembras de mayor edad están expuestas a mayor tiempo de retención de metales que las hembras de menor edad. Se ha mostrado que diversos factores como las migraciones, el sexo y la edad, o una combinación de estos, pueden influir directamente en la variación de las concentraciones de metales en los individuos y por ende, de sus huevos (Godley, Thompson y Furness 1999; Andreani *et al.*, 2008).

Se detectó la presencia de metales considerados de mayor toxicidad, como Ni, Cd, Pb, Co, As y Hg (Márquez *et al.*, 2008). Los niveles de Pb registrados (0.0914 ± 0.188 mg/kg) en los huevos de seis de los diez nidos de *C. mydas*, fueron mayores a lo reportado por Guirlet, Das y Girondot (2008) en huevos de *D. coriacea* (0.036 ± 0.001 µg/g), lo cual sugiere importante bioacumulación de Pb en esta tortuga.

La concentración de Ni en los huevos de *C. mydas* (0.057 ± 0.017 mg/kg) y *L. kempii* (0.0369 ± 0.0174 mg/kg), fueron mayores a las reportadas en *C. caretta* por Sakai *et al.*, (2000a) (<0.03 µg/g). Sin embargo fueron menores a lo reportado por Al-Rawahy y colaboradores (2007) en *C. mydas* (0.06 ± 0.0 µg/g).

En general, las concentraciones de Pb, Ni y Co fueron menores en *L. kempii* que en *C. mydas*. Estos resultados y con base en las Normas Oficiales Mexicanas (Cuadro 10) sugiere que las tortugas *L. kempii* y *C. mydas* de la playa Villamar, no enfrentan problemas de contaminación por Pb, Ni y Co. Los niveles de Hg (0.014 ± 0.022 mg/kg) registrados, fueron mayores a los reportados en *N. depressus* (Ikonomopoulou *et al.*, 2011) y en *D. coriacea* (0.012 ± 0.003 µg/g; Guirlet, Das y Girondot, 2008); y menores a las registradas en *C. caretta* (5.54 ± 1.57 µg/g; Sakai *et al.*, 2000a).

Las concentraciones de As (0.0049 ± 0.0055 mg/k) registradas en *L. kempii*, fueron menores que las reportadas en *N. depressus* (Ikonomopoulou *et al.*, 2011). Otro de los metales registrados en *L. kempii* fue el Zn, el cual registró la mayor concentración en nuestro estudio (1.602 ± 1.870 mg/kg). No obstante, su

concentración fue baja comparada con lo reportado en otras playas para *C. mydas* (10.40 ± 0.06 mg/k, Ikonomopoulou *et al.*, 2011; 14.16 ± 2.23 µg/g, Guirlet, Das y Girondot, 2008; 14.7 ± 1.44 µg/g, Sakai *et al.*, 1995; 20.3 µg/g, Sakai *et al.*, 2000a).

Uno de los metales reportados en la playa Villamar para ambas especies fue el Fe, cuyas concentraciones fueron ligeramente superiores en *C. mydas* (0.528 ± 0.369 mg/kg) que en *L. kempii* (0.399 ± 0.251 mg/kg), aunque estas diferencias no llegaron a ser significativas. Este metal forma parte de los clasificados como esenciales y las concentraciones que encontramos fueron relativamente bajas, en comparación con las reportadas por Sakai *et al.*, (2000a) para *C. mydas* (10.9 µg/g). Si bien no conocemos la edad, ni el tamaño de las tortugas muestreadas, se ha mencionado que algunos metales disminuyen en concentración conforme el crecimiento de los organismos, si se alejan de la contaminación y si presentan una dieta herbívora, como es el caso de *C. mydas*. En *C. caretta* se han reportado concentraciones de 11.5 ± 1.29 µg/g; niveles que para un metal esencial se consideran adecuados para un desarrollo embrionario exitoso (Sakai *et al.*, 1995); por lo tanto, tampoco podemos hablar de contaminación por Fe en las tortugas anidantes de la playa Villamar.

Los metales Pt (0.042 ± 0.081 mg/kg) y Pd (0.068 ± 0.028 mg/kg) registrados en *C. mydas*, significan los primeros registros en tortugas marinas. Si bien sus concentraciones fueron bajas, es importante contar con esta información, ya que su bioacumulación puede causar un problema fisiológico, con efectos negativos en la reproducción (Caurant *et al.*, 1999; Presti *et al.*, 1999). La

concentración que llega a causar estos efectos es desconocida y no se tiene información precisa de los límites tolerables para metales pesados en reptiles, particularmente para tortugas marinas (Talavera-Saenz *et al.*, 2007). Por lo tanto, se sugiere realizar estudios en hembras, en alimento, en agua y en sedimentos sobre Pt y Pd.

En *L. kempii* se registraron también Cu (0.300 ± 0.399 mg/kg), Mn (0.024 ± 0.032 mg/kg), Al (0.029 ± 0.032 mg/kg), Cr (0.005 ± 0.005 mg/kg) y Cd (0.003 ± 0.003 mg/kg). Las concentraciones encontradas de estos metales fueron menores a las reportadas por otros autores para *C. mydas* (Sakai *et al.*, 1995; Sakai *et al.*, 2000b; Guirlet, Das y Girondot, 2008; Ikonopoulou *et al.*, 2011). Las variaciones en las concentraciones de los metales, pueden estar relacionadas con las dietas de ambas especies; mientras *L. kempii* es carnívora, *C. mydas* es herbívora (Storelli, Ceci y Marcotrigiano, 1998; Day *et al.*, 2005; Páez-Osuna *et al.*, 2010a). Se sabe que en las especies que se alimentan de moluscos, crustáceos y esponjas, la concentración de metales puede ser mayor, debido a que a través de la filtración, estos invertebrados incorporan gran cantidad de material particulado de la columna de agua (Regalado, Laguna y Martínez, 2010). Sin embargo, en las especies que se alimentan de pastos marinos y algas, los metales son adquiridos más lentamente a través del forrajeo que hacen las tortugas en los sedimentos (Páez-Osuna, 2010b).

Una vez ingresados al cuerpo por medio de la ingesta, los metales son transportados hacia la sangre y posteriormente se unen a proteínas, donde después serán depositados en el hígado. Pasado un tiempo, estos metales son

bioacumulados en éste y otros órganos, incluyendo los reproductivos y otros tejidos (Edwards *et al.*, 2001). Por ejemplo, se sabe que el Cd, registrado en concentraciones bajas en *L. kempii* (0.003 ± 0.003 mg/kg) se acumula conforme a la edad de los organismos (Dietz, Riget y Johansen, 1996). Sin embargo, conocer esta relación en nuestro estudio fue difícil, debido a la falta de información respecto a la edad de las tortugas. Además, se ha sugerido que para asegurar que existe bioacumulación, el número de muestras debe ser mayor (Ditmer y Stapleton, 2012). Esto es evidente en nuestro estudio, debido a la gran variación que se presentó en la concentración de metales en los huevos de las dos especies, sobre todo para los metales: Pb, Pt y Co en *C. mydas* y Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd y As en *L. kempii*.

La toxicidad de los metales en tejidos, puede variar durante los periodos de cría, ayuno, reproducción, puesta de huevos y migración (Guirlet, Das y Girondot, 2008). Las tortugas marinas son especies ampliamente migratorias, por lo que la movilidad de las hembras puede contribuir a la exposición diferencial de metales pesados de diversas fuentes (Ehsanpour *et al.*, 2014). Nosotros sugerimos que durante estas migraciones, las hembras podrían nadar en aguas cercanas a costas con afluencia de desechos antropogénicos e industriales y adquirir cierto nivel de contaminación de metales, como ha sido mencionado por Kaska y Furness (2001).

Uno de los principales problemas de interpretación de los resultados, sobre todo para indicar si existe o no contaminación de riesgo, es que en México se carece de una normatividad adecuada. En muchos casos se hacen inferencias

utilizando los límites máximos permisibles para metales en organismos de estuarios y costa, productos pesqueros y consumo humano establecidas por distintas instituciones de salud (Gardner *et al.*, 2006); sin embargo, no se cuenta con información suficiente para vida marina y menos aún para especies no comerciales.

De acuerdo con la normatividad mexicana para metales pesados en diferentes organismos y aguas (Cuadro 10), las concentraciones encontradas en *L. kempii* de As, Cd, Cr y Ni, se registraron por debajo de los límites máximos permisibles. Para el caso de Hg y Pb, las concentraciones también se encontraron por debajo de los límites permisibles con excepción de lo descrito en la NOM-001-ECOL-1996, donde se mostraron ligeramente mayores. Sin embargo, es indispensable que se obtengan los valores máximos permisibles, de tal manera que se identifiquen los contaminantes de riesgo en el medio fluvial y marino y especialmente en la zona costera, ya que la normatividad no lo menciona de manera específica.

Cuadro 10. Normas Mexicanas para Límites Máximos Permisibles en metales pesados.

Normatividad Mexicana para metales pesados		Límites Máximos permisibles (mg/kg)							
		As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
NOM-027-SSA1-1993	Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados.		0.5			1,0		1,0	
NOM-029-SSA1-1993	Productos de la pesca. Crustáceos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias.		0,5			1,0		1,0	
NOM-031-SSA 1-1993	Productos de la pesca. Moluscos, bivalvos, frescos-refrigerados y congelados.		0,5			1,0		1,0	
NOM- 001-ECOL-1996	Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.	0.1	0.1	4	0.5	0.01	2	0.2	10
NOM-117-SSA1-1994	Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo estaño, cobre, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica								

La concentración de los diferentes metales fue variable en los huevos de los diferentes individuos de las dos especies de tortugas estudiadas. Los resultados obtenidos en el presente trabajo sugieren que la concentración detectada de los metales analizados, no tuvo efecto sobre la tasa de eclosión en ninguna de las especies de tortugas. Broderick y Godley (1996) sugieren que muchas veces, la baja concentración de metales en los huevos de tortugas marinas, probablemente se deba al elevado número de huevos que cada hembra reproductora deposita por temporada anidatoria.

El porcentaje promedio obtenido del éxito de eclosión fue de 29.25% huevos para *L. kempii* y 39.85% huevos para *C. mydas*. Estos porcentajes son menores en comparación con los reportados por Cupul-Magaña y Aranda-Mena (2005) para *L. olivacea*, aunque se encuentran dentro del rango reportado por Hernández *et al.*, (2007) con 38.3% para *D. coriacea* y Medina-Cruz, Moncada-Gavilán y Nodarse-Abreu (2010) para *Eretmochelys imbricata*. El bajo éxito de eclosión probablemente se deba al poco desarrollo que mostraron los huevos, y a la influencia de la vegetación, la cual se sabe, tiene una relación positiva con el éxito de eclosión, debido a que ayuda al mejor balance de la temperatura y la humedad (Hernández *et al.*, 2007; Medina-Cruz, Moncada-Gavilán y Nodarse-Abreu 2010).

Dentro de los nidos no depredados, se registraron huevos no eclosionados y embriones muertos. Aunque no se cuenta con información que muestre análisis de metales en estos embriones, las bajas concentraciones de metales registradas en

los huevos, sugiere que la presencia de metales registrada no tiene relación con la mortalidad de embriones de las nidadas. Esto ha sido sugerido por Godley *et al.*, (1999), que aunque exista concentración de metales pesados en los huevos de tortugas marinas, siempre hay factores a considerar en la mortalidad y el desarrollo de los embriones, tales como las condiciones de la playa, la humedad, la temperatura, el contenido de materia orgánica en la arena, la transferencia materna y los sedimentos, entre otros (Leslie *et al.*, 1996; Hernández *et al.*, 2007; Perrautl *et al.*, 2011).

La transmisión de metales hacia los huevos se da mediante la vitelogénesis (Ikonomopoulou *et al.*, 2013). Los elementos esenciales tales como Fe, Mn, Zn y Cu, se transfieren fácilmente de la madre a los huevos; por ejemplo, se requiere de Cu para la osificación del esqueleto embrionario, el cual se obtiene y almacena en la cáscara y yema que la madre produce (Bilinski *et al.*, 2001). Sin embargo, también por este mismo proceso se transfieren algunos tóxicos, como Cd y Hg, aunque en cantidades limitadas (Sakai *et al.*, 1995). Es posible que la transferencia materna difiera entre las especies, además del nivel de contaminación a la que se exponga y a la naturaleza del elemento considerado (Guirlet, Das y Girondot, 2008).

Por otra parte, durante la incubación, el número de poros abiertos de la cáscara de los huevos aumenta debido al agua o al intercambio de gases entre los huevos y el entorno del nido, por lo que facilita la transferencia de contaminantes (Hewavisenthi y Parmenter, 2001; Canas y Anderson, 2002). Por lo cual, si bien la transmisión principal de contaminantes hacia el interior del huevo puede provenir

de la madre, también debe considerarse que una vez llevada a cabo la ovoposición, una fuerte entrada de contaminación es a través de sedimentos o arenas contaminadas, (Andreani *et al.*, 2008). Esto sugiere que en estudios posteriores, sea necesario analizar el sustrato de anidación, y así descartar una posible relación entre los niveles de metales en éste y los huevos de la nidada. No obstante, es probable que esta contaminación del sustrato, sea discriminada en el proceso de selección del sitio de anidación por parte de las hembras, de tal manera que aseguren una eclosión exitosa (Bell *et al.*, 2003).

Se sabe que en esta playa existe una separación de los sitios de anidación de las tortugas marinas, *L. kempii* hacia el norte de la playa y *C. mydas* hacia el sur (Morales-Mávil *et al.*, 2016), lo cual fue evidente también en nuestros registros. Por lo tanto, contar con información analítica de metales en los diferentes sustratos y aguas de la playa, nos ayudará a relacionar las diferencias en la concentración de los metales entre nidos y especies, con la ubicación de los nidos en la playa.

IX. CONCLUSIONES

- Los huevos de tortugas marinas en la playa Villamar, en Tuxpan Veracruz, presentan al menos 14 metales pesados (Fe, Pb, Ni, Co, Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd, As, Pt y Pd).
- Existe mayor diversidad de metales pesados en *L. kempii* que en *C. mydas*. Los metales Cu, Mn, Zn, Al, Cr, Hg, Cd y As sólo se presentan en *L. kempii*, mientras que Pt y Pd sólo en *C. mydas*.
- Las concentraciones de metales pesados en los huevos de las tortugas *L. kempii* y *C. mydas*, son bajos de acuerdo con las Normas Mexicanas y en relación con otros estudios, por lo cual no se considera que exista contaminación en los huevos para ninguna de las dos especies.
- El éxito de eclosión en la playa Villamar, es de 29.25% para *L. kempii* y 39.85% para *C. mydas*. Este éxito no se relaciona con la concentración de los metales encontrados en los huevos, en ninguna de las especies de tortuga.

X. RECOMENDACIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

El presente trabajo es de relevancia para futuras investigaciones respecto a la biología, ecología y fisiología de tortugas marinas. En México, la contaminación por metales pesados en tortugas marinas ha sido poco estudiada, así como sus efectos en la reproducción. La poca información existente se ubica en las playas del Océano Pacífico; por lo tanto, nuestro estudio muestra una nueva aproximación acerca de la contaminación de metales en tortugas marinas para el Golfo de México. Consideramos que esta información será base para futuros monitoreos del estado de salud de hembras anidadoras de *L. kempii* y *C. mydas* en las playas de la zona norte del estado de Veracruz.

Conocer los niveles de contaminación de metales pesados en tortugas marinas ayudará a plantear mejores estrategias de conservación y manejo de estos quelonios en peligro de extinción. El estudio realizado, aporta fundamentos que pueden contribuir a relacionar posteriores monitoreos con organismos bioindicadores, de tal manera que se pueda conocer el estado de algunos ecosistemas. En este sentido, es recomendable realizar estudios en diversos organismos bioindicadores y organismos centinelas.

Dichos organismos deben cumplir una serie de criterios, como ser especies fáciles de identificar, que presenten longevidad, que se encuentren disponibles para el muestreo a lo largo del año, que cuenten con tamaño adecuado para poder obtener muestras de tejido, que sean resistentes al estrés causado por su captura y que sean tolerantes a las variaciones de factores físico-químicos. Asimismo, se

sugiere incrementar las variables de muestreo a lo largo de las épocas del año, donde se incluya el agua y los sedimentos, de tal manera que se determinen los medios donde los metales se pueden estar almacenando y puedan estar variando de manera temporal.

Considerando que las tortugas marinas son especies protegidas por la normatividad mexicana e internacional, realizar estudios donde se sacrifiquen ejemplares y/o huevos es difícil por la obtención de permisos ambientales. Por lo tanto, y dependiendo de la investigación, se sugiere aprovechar al máximo las muestras obtenidas para realizar análisis en laboratorio, utilizar huevos que no lograron desarrollarse o que no llegaron eclosionar, así como crías que quedan en desarrollo incompletos o mueren antes de poder salir del nido. Y con respecto a adultos, se puede implementar la toma de muestras de especímenes varados.

Por otro lado, el trabajo también contribuye a conocer la distribución que las hembras están presentando respecto a la anidación, lo cual aporta en la identificación de posibles fuentes de contaminación en la zona, donde llegan a desovar tortugas marinas. De esta manera, las autoridades ambientales podrán contar con un acervo de información, que les permita dirigir sus monitoreos e inspecciones, para regular a la población e industrias y llevar un control y manejo adecuado de los contaminantes que viertan al ecosistema.

Además, en nuestro estudio se muestra la limitación que existe en torno a la normatividad de metales pesados y específicamente en tortugas marinas, ya que se carece de límites permisibles en estas especies. Por tanto, sabiendo la toxicidad

y daños a la salud que estos causan, y resaltando que las tortugas marinas son especies protegidas, se sugiere hacer una revisión al respecto. En general, este estudio favorece e incita a realizar normas nacionales e internacionales que apoyen la protección de estas especies con respecto a los metales pesados, ya que al protegerlas a ellas, también se estará protegiendo a más organismos marinos.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Abella, E. 2010. Factores ambientales y de manejo que afectan al desarrollo embrionario de la tortuga marina *Caretta caretta*. Implicaciones en programas de incubación controlada. Tesis doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. España. 212 pp.
- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W. y Martínez, G. 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*. 27 (12): 686-690.
- Aguirre, A. A. y Lutz, P. L. 2004. Marine turtles as sentinels of ecosystem health: is fibropapillomatosis an indicator?. *EcoHealth*. 1: 275-283.
- Aguirre, A. A., Balazs, G. H., Zimmerman, B. y Galeys F. D. 1994. Organic contaminants and trace metals in the tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) afflicted with fibropapillomas in the Hawaiian Islands. *Marine pollution bulletin*. 28 (2): 109-114.
- Ahumada, B. R. 1994. Nivel de concentración e índice de bioacumulación para metales pesados (Cd, Cr, Hg, Ni, Cu, Pb y Zn) en tejidos de invertebrados bénticos de Bahía San Vicente, Chile. *Revista de biología marina*. 29 (1): 77-87.
- Al-Raway, S. H., Al Kindi, A. Y., Elshafie, A., Ibrahim, M., AlBanhy, S. N., Siyabi, S.S., Mansour, M. H. y Al Kiyumi, A. A. 2007. Accumulation of metals in the egg yolk and liver of hatchling of Green turtles *Chelonia mydas* at Ras Al Hadd, Sultanate Of Oman. *Journal of biological sciences*. 7 (6): 925-930.

- Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Berthet, B. y Metayer, C. 1987. Comparative study of the patterns of bioaccumulation of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) trace metals in various estuarine and coastal organisms. *Journal of experimental marine biology and ecology*. 106: 73-89.
- Andreani, G., Santoro, M., Gottignoli, S., Fabbri, M., Campene, E. e Isani G. 2008. Metal distribution and metallothionein in loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. *Science of the total environment*. 287-294.
- Ávila-Pérez, P. y Zarazúa-Ortega G. 1993. Concentración de metales pesados en ostiones (*Crassostrea virginica Gmelin*), del canal El Chijol, Veracruz, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 9 (2): 53-64.
- Barbieri, E. 2009. Concentration of the heavy metals in tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) sampled in the Cananéia estuary, Brazil. *Brazilian journal of oceanography*. 57 (3): 243-248.
- Bárcenas, I. A. y Maldonado, G. A. 2009. Malformaciones en embriones y neonatos de tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) en Nuevo Vallarta, Nayarit, México. *Veterinaria México*. 40 (4): 371-380.
- Bell, B. A., Spotila, J. R., Paladino, F. V. y Reina, R. D. 2003. Low reproductive success of leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*, is due to high embryonic mortality. *Biological conservation*. 131-138.

- Bernake, J. y Köhler, H. R. 2008. The impact of environmental chemicals on wildlife vertebrates. pp 1-47. En: Reviews of environmental contamination and toxicology. Board (ed). New York, USA.
- Bilinski, J. J., Reina, R. D., Spotila, J. R. y Paladino, F. V. 2001. The effects of nest environment on calcium mobilization by leatherback turtle embryos (*Dermochelys coriacea*) during development. Comparative biochemistry and physiology. 151-162.
- Broderick, A. C. y Godley, B. J. 1996. Population and nesting ecology of the green turtle, *Chelonia mydas*, and the loggerhead turtle, *Caretta caretta*, in northern Cyprus. Reptilia. 27-46.
- Camacho, R. M. 2013. La sangre como marcador de utilidad y toxicológica: estudio de los efectos de los contaminantes persistentes en tortugas marinas. Tesis doctorado. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria, España. 242 pp.
- Canas, J. E. y Anderson, T. A. 2002. Organochlorine contaminants in eggs: the influence of contaminated nest material. Chemosphere. 47: 585–589.
- Caurant, F., Bustamante, P., Bordes, M. y Miramand, P. 1999. Bioaccumulation of cadmium, copper and zinc in some tissues of three species of marine turtles stranded along the French Atlantic coasts. Marine pollution bulletin. 38 (12): 1085-1091.
- Chiang, J. 1988. Contaminación del mar y el futuro de la pesca en Chile. Ambiente y desarrollo .4 (1 y 2): 67-72.

- Chuecas, M. L. 1989. Contaminación por metales pesados en el litoral de la región del Bío-Bío, Concepción, Chile: el caso del mercurio y el cadmio. *Ambiente y desarrollo*. 1: 137-145.
- Cobos, S. J. 2012. Influencia de la distribución del grano en la anidación de tortuga verde (*Chelonia mydas*) en dos playas del estado de Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto de Neuroetología, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz. México.
- Contreras, V. L. A. 2013. Distribución espacio-temporal de nidos de las tortugas lora (*Lepidochelys kempi*) y verde (*Chelonia mydas*) en la playa Villamar, Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. . Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz.
- Cross, I. y Rebordinos, L. 2003. Efecto de la contaminación marina sobre la estructura genética poblacional del bivalvo *Crassostrea angulata*, *Ciencias marinas*, 29(2): 239-250.
- Cupul-Magaña, F. G. y Aranda-Mena, O. S. 2005. Éxito de eclosión del cocodrilo americano (*Crocodylus acutus*) y la tortuga golfina (*Lepidochelys olicavea*) en Puerto Vallarta, Jalisco, México. *Revista electronica de veterinaria*. 1(10): 1-7.
- Day, R. D., Christopher, S. J., Becker, P. R. y Whitaker, D. W. 2005. Monitoring mercury in the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*. *Environmental science and technology*. 39: 437-446.
- Day, R. D., Segars, A. L., Arendt, M. D., Lee, A. M. y Peden-Adams, M. M. 2007. Relationship of blood mercury levels to health parameters in the loggerhead

sea turtle (*Caretta caretta*). Environmental health perspectives. 115(10): 1421-1428.

Dietz, R., Riget, F. y Johansen, P. 1996. Lead, cadmium, mercury and selenium in Greenland marine animals. Science of the total environment. 186: 67-93.

Ditmer, M. A. y Stapleton, S. P. 2012. Factors affecting hatch success of hawksbill sea turtles on Long Island, Antigua, west Indies. Plosone. 7: 1-12.

Edwards, J. W., Edyvane, K. S., Boxall, V. A., Hamann, M. y Soole, K. L. 2001. Metal levels in seston and marine fish flesh near industrial and metropolitan centres in South Australia. Marine pollution bulletin. 42 (5): 384-396.

Ehsanpour, M., Afkhami, M., Khoshnood, R. y Reich, K. J. 2014. Determination and maternal transfer of heavy metals (Cd, Cu, Zn, Pb and Hg) in the hawksbill sea turtle (*Eretmochelys imbricata*) from a nesting colony of Qeshm Island, Iran. Bulletin of environmental contamination and toxicology. 92: 667-673.

Franzellitti, S., Locatelli C., Gerosa, G., Vallini C. y Fabbri, E. 2004. Heavy metals in tissues of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the northwestern Adriatic sea. Comparative biochemistry and physiology. 138: 187–194.

García, B. G. G. M. 2011. Bioacumulación y transferencia materna de contaminantes orgánicos persistentes en la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) y tortuga blanca (*Chelonia mydas*) de la costa de Campeche, México. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. Xalapa, Veracruz, México.

- Gardner, S., Fitzgerald, S. L., Acosta, V. B. y Mendez-Rodriguez, L. 2006. Heavy metal accumulation in four species of sea turtles from the Baja California Peninsula, Mexico. *BioMetals* 19: 91–99.
- Godley, B., Thompson, D. R. y Furness R. W. 1999. Do heavy metal concentrations pose a threat to marine turtles from the Mediterranean sea?. *Marine pollution bulletin*. 38 (6): 497-502.
- Grillitsch, B. y Schiesari, L. 2010. The ecotoxicology of metals in reptiles. pp 337-448. En: *Ecotoxicology of amphibians and reptiles*. Donald W. Sparling, Greg Linder, Cristine A. Bishop, Sherry K. Krest, 2nd ed. (Ed) Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Florida, USA.
- Guirlet, E., Das, K. y Girondot, M. 2008. Maternal transfer of trace elements in leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*) of French Guiana. *Aquatic toxicology*. 88: 267-276.
- Hernández, R., Buitrago, J., Guada, H., Hernández-Hamón, H. y Llano, M. 2007. Nesting distribution and hatching success of the leatherback, *Dermochelys coriacea*, in relation to human pressures at playa Parguito, Margarita island, Venezuela. *Chelonian conservation and biology*. 6 (1): 79-86.
- Hewavisenthi, S. y Parmenter, C. J. 2001. Influence of incubation environment on the development of the flatback turtle (*Natator depressus*). *Copeia*. 2001(3): 668-682.
- Hylland, K. 2006. Biological effects in the management of chemicals in the marine environment. *Marine pollution bulletin*. 53: 614-619.

- Ikonomopoulou, M. P., Olszowy, H., Francis, R., Ibrahim, K. y Whittier J. 2013. Accumulation of trace metals in the embryos and hatchlings of *Chelonia mydas* from peninsular Malaysia incubated at different temperatures. Science of the total environment. 301-306.
- Ikonomopoulou, M. P., Olszowy, H., Limpus, C., Francis, R. y Whittier, J. 2011. Trace element concentrations in nesting flatback turtles (*Natator depressus*) from Curtis Island, Queensland, Australia. Marine environmental research. 71:10-16.
- Ikonomopoulou, M. P., Olszowy, H., Hodge, M. y Bradley, A. J. 2009. The effect of organochlorines and heavy metals on sex steroid-binding proteins in vitro in the plasma of nesting green turtles, *Chelonia mydas*. Journal of comparative physiology. 179, 653-662.
- Innis, C., Tlusty, M., Perkins, C., Holladay, S., Merigo, C. y Weber III E. S. 2008. Trace metal and organochlorine pesticide concentrations in cold-stunned juvenile kemp's ridley turtles (*Lepidochelys kempi*) from Cape Cod, Massachusetts. Chelonian conservation and biology. 7 (2): 230-239.
- Jakimska, A., Konieczka P., Skóra K. y Namiesnik, J. 2011. Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals, Part I: the role and impact of heavy metals on organisms. Polish journal of environmental studies. 20 (5): 1117-1125.
- Kaska, Y. y Furness, R. W. 2001. Heavy metals in marine turtle eggs and hatchlings in the Mediterranean. Zoology in the middle east. 24(1): 127-132.

- Kobayashi, N. y Okamura, H. 2004. Effects of heavy metal son sea urchin embryo development. 1.Tracing the cause by the effects. *Chemosphere*. 55: 1403-1412.
- Lam, J. C. W., Tanabe S., Chan, S. K. F., Yuen, E. K. W., Lam, M. H. W. y Lam, P. K. S. 2004. Trace element residues in tissues of green turtles (*Chelonia mydas*) from South China Waters. *Marine pollution bulletin* 48: 164–192.
- Lam, J. C. W., Tanabe, S., Chan, S. K. F., Lam, M. H. W., Martin M. y Lam P. K. S. 2006. Levels of trace elements in Green turtle eggs collected from Hong Kong: evidence of risks due to selenium and nickel. *Environmental pollution*. 144: 790-801.
- Leslie, A. J., Penick, D. N., Spotila, J. R. y Paladino, F. V. 1996. Leatherback turtle, *Dermochelys coriacea*, nesting and nest sucess at Tortuguero, Costa Rica, in 1990-1991. *Chelonian conservation and biology*. 2(2): 159-168.
- Maffucci, F., Caurant, F., Bustamante, P. y Bentivegna, F. 2005. Trace element (Cd, Cu, Hg, Se, Zn) accumulation and tissue distribution in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the Western Mediterranean Sea (southern Italy). *Chemosphere*. 58: 535-542.
- Márquez, A., Senior, W., Fermín, I., Martínez, G., Castañeda, J. y González, A. 2008. Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Revista Científica XVIII* (1): 73-86.

- Márquez, R. 2003. Las tortugas marinas y nuestro tiempo. (ed.). Fondo de cultura económica. México, D.F. 200 pp.
- Márquez, R. 2004. La biota del Golfo de México. pp. 137-323. En: Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Vol.1 (ed.). Instituto Nacional de Ecología, México.
- Medina-Cruz, Y., Moncada-Gavilán, F. y Nodarse-Abreu G. 2010. Selección del sitio de anidación y éxito de eclosión en nidos de tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*). Revista cubana de investigaciones pesqueras. 27(1): 60-65.
- Miller J. D. 2000. Determinación del tamaño de la nidada y el éxito de eclosión.143-149. En: Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas. Grupo Especialista en Tortugas Marinas. UICN/CSE Publicación No. 4.
- Morales-Mávil, J. E., Guzmán-Guzmán, S., Canseco-Márquez, L. Pérez-Higareda, G., González-Romero, A. y Vogt, R. C. 2011. Reptiles: biodiversidad y conservación. En: La biodiversidad en Veracruz, estudio de estado. (Ed.) CONABIO. Xalapa, Veracruz, México.
- Morales-Mávil, J. E., Contreras-Vega, L. A., Serrano, A., Cobos-Silva, J. y Zavaleta-Lizárraga, L. 2016. Spatial-temporal distribution of kemp's ridley turtles (*Lepidochelys kempi*) and green turtles (*Chelonia mydas*) nests in a beach of the North of Veracruz, Mexico. pp 33-52. En: Sea turtles: ecology,

behavior and conservation. Candace Patterson (Ed). Nova science publishers, New York, USA.

Naglee, R. D., Rowe, C. L., y Congdon J. D. 2001. Accumulation and selective maternal transfer of contaminants in the turtle *Trachemys scripta* associated with coal ash deposition. Archives of environmental contamination and toxicology. 40: 531-536.

Norma Oficial Mexicana. NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial, 6 enero de 1997.

Norma Oficial Mexicana. NOM-027-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Pescados frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Diario Oficial, 3 marzo de 1995.

Norma Oficial Mexicana. NOM-029- SSA1-1993. Productos de la pesca. Crustáceos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Diario Oficial, 15 abril de 1994.

Norma Oficial Mexicana. NOM-031-SSA1-1993. Bienes y servicios. Productos de la pesca. Moluscos y bivalvos frescos-refrigerados y congelados. Especificaciones sanitarias. Diario oficial. 6 marzo de 1995.

Norma Oficial Mexicana. NOM-059-SEMARNAT.2010. Protección ambiental- Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario oficial, 30 diciembre de 2010.

Norma Oficial Mexicana. NOM-117-SSA1-1994. Método de prueba para la determinación de cadmio, cromo, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, mercurio y zinc en alimentos, agua potable y agua purificada por absorción atómica. Diario Oficial, 29 de junio de 1995.

Páez-Osuna, F., 2005a. Fuentes de metales en la zona costera marina, p. 329-342. En: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. (Ed) Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología.

Páez-Osuna, F., 2005b. Efectos de los metales. pp 343-360. En: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias, 2da Edición. (Ed) Univ. Autón. de Campeche, Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología.

Páez-Osuna, F., Calderón-Campuzano, M. F., Soto-Jiménez, M. F. y Ruelas-Inzunza, J. R. 2010a. Trace metals (Cd, Cu, Ni and Zn) in blood and eggs of the sea turtle *Lepidochelys olivacea* from a nesting colony of Oaxaca, Mexico. Archives of environmental contamination and toxicology. 59: 632-641.

Páez-Osuna, F., Calderón-Campuzano, M. F., Soto-Jiménez, M. F. y Ruelas-Inzunza J. R. 2010b. Lead in blood and eggs of the sea turtle, *Lepidochelys olivacea*, from the Eastern Pacific: concentration, isotopic composition and maternal transfer. Marine pollution bulletin. 60: 433-439.

Páez-Osuna, F., Calderón-Campuzano, M. F., Soto-Jiménez, M. F., Ruelas-Inzunza, J. 2011. Mercury in blood and eggs of the sea turtle *Lepidochelys*

olivácea from a nesting colony in Oaxaca, Mexico. Marine pollution bulletin 62: 1320–1323.

Perrault, J., Wyneken, J., Thompson, L. J., Jhonson, C. y Miller, D. L. 2011. Why are hatching and emergence success low? Mercury and selenium concentrations in nesting leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*) and their young in Florida. Marine pollution bulletin. 62: 1671-1682.

Ponce-Velez, G. y Botello, A. V. 1991. Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la Laguna de Términos, Campeche. Hidrobiológica. 1(2): 1-10.

Presti, S. M., Resendiz, S. H. A., Sollod, A. E. y Seminoff, J. A. 1999. Mercury concentration in the scutes of black sea turtles, *Chelonia mydas agassizii*, in the Gulf of California. Linnaeus fund research report. Chelonian conservation and biology. 3(3): 531-533.

Rainbow, P. S. 2002. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so whats?. Environmental pollution. 120: 497-507.

Regalado, E. L., Laguna, A. y Martínez, J. R. 2010. Las esponjas marinas como fuente de nuevas sustancias bioactivas. Medio ambiente y desarrollo. 11 pp.

Rodríguez, L. y Rivera, D. 1995. Efecto del cobre y cadmio en el crecimiento de *Tetraselmis suecica* (Kylin) Butcher y *Dunaliella salina* Teodoresco. Estudios oceanológicos. 14: 61-74.

Sakai, H., Ichihashi, H., Suganuma, H. y Tatsukawa, R. 1995. Heavy metal monitoring in sea turtles using eggs. Marine pollution bulletin. 30:(5) 347-353.

- Sakai, H., Saeki, K., Ichihashi H., Suganuma, H., Tanabe S. y Tatsukawa R. 2000a. Species-specific distribution of heavy metals in tissues and organs of loggerhead turtle (*Caretta caretta*) and green turtle (*Chelonia mydas*) from Japanese coastal waters. *Marine pollution bulletin*. 40 (8): 701-709.
- Sakai, H., Saeki, K., Ichihashi, H., Kamezaki, N., Tanabe, S. y Tatsukawa R. 2000b. Growth-related changes in heavy metal accumulation in green turtle (*Chelonia mydas*) from Yaeyana Islands, Okinawa, Japan. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 39: 378-385.
- Santiago, B. R. 2010. Caracterización de las playas de Tuxpan, Veracruz mediante criterios de certificación. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Storelli, M. M., Ceci, E. y Marcotrigiano, G. O. 1998. Distribution of heavy metal residues in some tissues of *Caretta caretta* (Linnaeus) specimen beached along the Adriatic sea (Italy). *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 60: 546- 552.
- Storelli, M. M., Storelli, A., D' Addabbo, R., Marano, C. Bruno, R. y Marcotrigiano G. O. 2005. Trace elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the easternrn Mediterranean sea: overviwe and evaluation. *Environmental pollution*. 135, 163-170.
- Talavera-Saenz, A., Gardner S. C., Rodriquez, R. R. y Acosta, V. B. 2007. Metal profiles used as environmental markers of green turtle (*Chelonia mydas*) foraging resources. *Science of the total environment*. 373: 94-102.
- Vázquez, G. F., Reyes, M. C., Fernández, G., Aguayo, J. E. C y Sharma, V. K. 1997. Contamination in Marine Turtle (*Dermochelys coriaca*) egg shells of

Playon de Mexiquillo, Michoacan, Mexico. Bulletin of environmental contamination and toxicology. 58: 326-333.

Vázquez-Botello, A., Villanueva-Fragoso, S. y Rosales-Hoz, L. 2004. Distribución de metales pesados en el Golfo de México. En: Diagnóstico ambiental del Golfo de México. (Ed). Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, Instituto nacional de ecología, Harte Research Institute For Gulf of Mexico Studies, México, DF. pp 681-684.

Visviki, I. y Rachlin, J. W. 1994. Acute and chronic exposure of *Dunaliella salina* and *Chlamydomonas bullosa* to copper and cadmium: effects on ultrastructure. Archives of environmental contamination and toxicology. 26: 154-162.

Wolfe, M. F., Schwarzbach, S. y Sulaiman R. A. 1998. Effects of mercury on wildlife: a comprehensive review. Environmental toxicology and chemistry. 17(2): 146–160.

XII. ANEXOS

GLOSARIO

Bioacumulación: Proceso mediante el cual los organismos por sus características biológicas absorben a través de la respiración, alimentos, agua, sedimento entre otros, ciertos contaminantes, los cuales dependiendo de su especiación y afinidad química o biológica tienden a acumularse en los distintos tejidos y órganos de los seres vivos.

Bioacumulante: Sustancia que aumenta su concentración en organismos vivos mientras consumen aire, agua o alimento contaminado debido a que las sustancias se metabolizan o se excretan muy lento.

Bioconcentración: Es el aumento de la acumulación de un producto químico en los organismos a niveles mayores que las del medio ambiente o en los alimentos.

Biodisponibilidad: Proceso mediante el cual ciertos elementos o compuestos dependiendo de la temperatura, salinidad, pH, humedad y presión quedan a disposición de organismos específicos.

Biomagnificación: Es la concentración de un químico con el aumento en la cadena trófica. Es causada por la bioacumulación que ocurre durante cada transferencia del químico hacia los niveles tróficos más altos.

Biogeoquímica: Ciencia que estudia los aspectos biológicos, químicos y geológicos de los procesos medio ambientales.

Contaminación: Presencia o introducción de sustancias en el ambiente que debido a su composición química o cantidad retarda el funcionamiento de procesos naturales y produce efectos ambientales indeseables.

Contaminante: Sustancia introducida en el ambiente que afecta los recursos naturales o la salud de seres humanos, animales y ecosistemas.

Metal pesado: Se refiere a cualquier elemento químico metálico con densidad alta, que sea como mínimo 5 veces mayor que la del agua (5g/cm^3) y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas.

Toxicidad: Capacidad de cualquier sustancia química de producir efectos perjudiciales sobre un ser vivo, al entrar en contacto con él.

Tóxico: Cualquier sustancia, artificial o natural, que posea toxicidad.

Vitelogénesis: Proceso de formación de los materiales de reserva del citoplasma del huevo. Generalmente mientras mayor cantidad de vitelo exista, la fase embrionaria dura más tiempo y se producen menos óvulos.

Ovoposición: Proceso mediante el cual los huevos son expulsados de la hembra para ser puestos sobre el nido y pueda empezar el proceso de incubación.