



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

Unidad Académica Mazatlán

Universidad Nacional Autónoma de México



**CONTENIDO DE ÁCIDOS GRASOS Y METALES PESADOS EN HUEVOS Y
SANGRE DE TORTUGA MARINA *Lepidochelys olivacea* DE LA COLONIA
ANIDADORA DE PLAYA ESCOBILLA, OAXACA, MÉXICO**

T E S I S

Que para obtener el grado académico de

Maestra en Ciencias

(Biología Marina)

p r e s e n t a

María Fernanda Calderón Campuzano

Directores de Tesis: Dr. Federico Páez Osuna

Dra. María Isabel Castro González

Comité Tutorial: Dr. F. Alberto Abreu Grobois

Dr. Jorge R. Ruelas Inzunza

Dr. Martín F. Soto Jiménez

MAZATLÁN, SINALOA

MAYO DE 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

© Queda prohibida la reproducción y uso total o parcial de la información de metales pesados e isótopos de plomo contenida en el trabajo sin previa autorización de la autora y del Dr. Federico Páez-Osuna.

**A DIOS Y A MI MAMÁ
A MI HERMOSA FAMILIA
A TODOS LOS QUE FORMAN PARTE DE MI EXISTIR**

***Con los desafíos del día a día
recibimos sorpresas agradables;
y este día, termina una más
de las múltiples que me esperan
en mi transitar por la vida.***

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Federico Páez Osuna por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto en el Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera; por sus enseñanzas así como por su paciencia, confianza y enorme apoyo a lo largo de estos años.

A mis asesores Dr. Alberto Abreu Grobois, Dr. Jorge Ruelas Inzunza y Dr. Martín Soto Jiménez por sus sugerencias, ideas aportadas, valiosos comentarios y por proporcionarme literatura para llevar a buen término este trabajo de investigación.

A la M. en C. Raquel Briseño Dueñas por su ejemplo y aportaciones realizadas al documento así como por su amistad, apoyo y sabios consejos para mejorar mi ser.

Al Quím. Humberto Bojórquez Leyva por su invaluable ayuda en el manejo de los equipos y la realización de análisis en el laboratorio, mil gracias por hacer productiva y agradable mi estancia.

Al Centro Mexicano de la Tortuga, encabezado por el director MVZ. Manelik Olivera Martínez y su gran equipo de trabajo quienes prestaron un valioso soporte logístico durante el muestreo en playa Escobilla y en especial a Biól. Cuauhtémoc Peñaflores Salazar, M. en C. Martha Harfush Meléndez, MVZ. Elpidio Marcelino López Reyes y grupo de alumnos voluntarios durante la temporada 2005-2006.

A los Doctores Felipe Amezcua Martínez y Juan Madrid Vera por la asesoría prestada en el tratamiento estadístico de los datos y material bibliográfico durante la realización de esta tesis.

A mis maestros del Posgrado por brindarme las herramientas de conocimiento necesarias para profundizar en el campo de la investigación, quienes han forjado en mí una mejor formación profesional.

Al Mat. Germán Ramírez Reséndiz y al L.S.C.A. Carlos Suárez Gutiérrez por sus continuas asesorías para salir de las emergencias en el manejo de programas de cómputo y sus sugerencias al manuscrito.

A la Sra. María Clara Ramírez Jáuregui y al L.S.C.A. Pedro Allende Rosales, responsables de la Biblioteca “Dra. María Elena Caso Muñoz”, Unidad Académica Mazatlán, por su fundamental apoyo en la consecución, búsqueda y acopio del material bibliográfico.

A las Sras. Margarita Cordero Ruiz, Natalia Medina Barba y Herlinda Rojas Virgen por su disponibilidad de ayuda a todo momento y eficiente realización de sus labores en lo concerniente a trámites e información dentro del Posgrado.

A la División General de Estudios de Posgrado por haberme brindado el apoyo financiero para realizar mis estudios de maestría.

A la Biól. Ángeles Cruz Morelos, responsable del Departamento Educativo de Acuario Mazatlán, por su hospitalidad, consejos académicos y personales y permitirme ser parte de su familia haciendo armoniosa mi vida en Mazatlán. Mil gracias Guillermo y Lourdes.

A mis compañeros de generación y de laboratorio. A mis amigos del alma por su cariño, amistad y compañía.

A todas y cada una de las personas que integran el plantel de la Unidad Académica Mazatlán, ICMYL, UNAM, quienes estuvieron vinculados en algún aspecto con la realización de este trabajo.



Proyecto de Investigación realizado bajo el
Permiso Especial SGPA/DGVS No. 06195,
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

TABLA DE CONTENIDO

Página

1. Introducción.....	1
1.1. Generalidades de los ácidos grasos	3
1.2. Metales trazas: fuentes y efectos	5
Antecedentes	7
2.1. Ácidos grasos.....	7
2.2. Metales pesados	9
2.2.1. Generalidades en fauna.....	9
2.2.2. Metales en tortugas.....	14
3. Planteamiento del problema.....	18
4. Objetivos	19
4.1. General	19
4.2. Específicos	19
5. Hipótesis.....	20
6. Metodología.....	21
6.1. Área de estudio	21
6.2. Materiales y equipo	23
6.3. Obtención de las muestras.....	24
6.3.1. Trabajo en campo	24
6.3.2. Trabajo en laboratorio	26
6.4. Procesamiento de las muestras	27
6.4.1. Determinación de ácidos grasos.....	27
6.4.1.1. Lípidos totales.....	27
6.4.1.2. Saponificación.....	28
6.4.1.3. Metilación de los ácidos grasos	28
6.4.1.4. Análisis de las muestras	29
6.4.2. Determinación de metales pesados	29
6.4.2.1. Preparación del material de laboratorio	29
6.4.2.2. Preparación de las muestras	30
6.4.2.3. Análisis de las muestras	32
6.4.3. Determinación de isótopos del plomo	33
6.5. Análisis estadístico.....	34
7. Resultados y discusión.....	37
7.1. Características biométricas	37
7.2. Ácidos grasos.....	39
7.3. Metales pesados	40
7.4. Isótopos del plomo	54
8. Conclusiones y recomendaciones.....	56
9. Literatura citada.....	59
10. Anexos	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estrategia para el posible aprovechamiento del huevo de tortuga golfina <i>Lepidochelys olivacea</i> en colonias de arribada según Mrosovsky (2001).....	2
Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio. Los triángulos indican los sitios de colecta para las muestras. Modificado de CONABIO 2005.	22
Figura 3. Mediciones anatómicas del ancho y largo curvo del caparazón de <i>Lepidochelys olivacea</i> durante la temporada 2005-2006.....	25
Figura 4. Extracción y recolección de sangre en tortuga golfina procedente de playa Escobilla, Oaxaca, México.....	25
Figura 5. Registro del peso de hembras anidadoras de tortuga golfina de playa Escobilla durante la temporada 2005-2006.	26
Figura 6. Esquema del procedimiento para lavado de material para el análisis de metales pesados (Moody y Lindstrom, 1977).	30
Figura 7. Relación entre el peso de la hembra con respecto a las medidas del caparazón de <i>Lepidochelys olivacea</i> de la colonia anidadora de playa La Escobilla.	38
Figura 8. Carga porcentual de metales pesados presentes en huevo de tortuga Golfina.	42
Figura 9. Relación entre el peso del huevo de <i>Lepidochelys olivacea</i> con respecto a los niveles de plomo y níquel ($\mu\text{g/g}$ peso seco) durante la tercera arribada de la temporada 2005-2006.....	45
Figura 10. Relación entre la concentración de níquel ($\mu\text{g/g}$ peso seco) y mercurio (ng/g peso seco) en sangre con respecto a los niveles en huevos analizados de <i>Lepidochelys olivacea</i> de la colonia anidadora de playa La Escobilla.	45
Figura 11. Niveles de cobre y zinc ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en sangre y huevos analizados de <i>Lepidochelys olivacea</i> durante la tercera arribada de la temporada 2005-2006. Las letras diferentes indican diferencias significativas con $P<0.05$	47
Figura 12. Niveles de cadmio, níquel, mercurio y plomo (mg/g peso seco) en sangre y huevos analizados de <i>Lepidochelys olivacea</i> durante la tercera arribada de la temporada 2005-2006. Las letras diferentes indican diferencias significativas con $P<0.05$	47

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Condiciones de operación del equipo de digestión por microondas (CEM, 1994).....	31
Tabla 2. Concentraciones de los metales analizados y registrados en el material de referencia IAEA-MA-A-3/TM.....	31
Tabla 3. Concentraciones de los metales analizados y registrados en el material de referencia IAEA-MA-B-3/TM.....	32
Tabla 4. Condiciones de operación del espectrofotómetro para flama, horno de grafito y generador de hidruros para los elementos analizados.....	32
Tabla 5. Datos biométricos de <i>Lepidochelys olivacea</i> (tortuga golfina) muestreadas en playa La Escobilla, Oaxaca, México.....	37
Tabla 6. Aspectos merísticos del huevo de tortuga golfina.....	38
Tabla 7. Porcentaje de humedad en huevos de <i>Lepidochelys olivacea</i> muestreada en playa La Escobilla, Oaxaca, México.....	39
Tabla 8. Concentraciones ($\mu\text{g/g}$) en peso seco de metales pesados en huevos y sangre de <i>L. olivacea</i> procedente de playa Escobilla, Oaxaca.	40
Tabla 9. Concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) de metales pesados encontrados en yema de huevo para diferentes especies de tortugas marinas.	50
Tabla 10. Concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) de metales pesados encontrados en clara de huevo para diferentes especies de tortugas marinas.	51
Tabla 11. Concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) de metales pesados encontrados en cascarón de huevo para diferentes especies de tortugas marinas.	52
Tabla 12. Composición isotópica de diferentes ambientes sedimentarios representativos de México, tomado de Soto-Jiménez <i>et al.</i> (2006)	55

RESUMEN

En las costas de México se encuentran seis especies de tortugas marinas y todas dentro de la categoría de especie en peligro de extinción dentro de la NOM ECOL 059-2001 y siendo consideradas especies prioritarias para la conservación. La especie de mayor distribución es *Lepidochelys olivacea* con áreas de concentración en el suroeste de la península de California, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Dicha especie presenta un comportamiento de anidación masiva y sincrónica en playa La Escobilla, la cual cuenta con una de las poblaciones reproductoras más importantes del continente americano. En este trabajo se presenta la concentración de metales pesados y ácidos grasos en huevos y los respectivos niveles en sangre de la hembra reproductora de tortuga golfina. Se analizaron 25 ejemplares y colectaron un total de 250 huevos bajo el Permiso Especial SGP/DGVS No. 06195 durante la tercera arribada de la temporada 2005-2006. Las dimensiones morfométricas registradas para colonia anidadora fueron en hembra 34.0 ± 4.4 Kg de peso, 66.4 ± 2.7 cm de largo curvo del caparazón, 70.7 ± 2.9 cm de ancho curvo del caparazón y en huevo 3.81 ± 0.05 cm de diámetro y 30.3 ± 0.34 g de peso. La tipología de los ácidos grasos del plasma de *L. olivacea* fue 48% saturados, 37% monoinsaturados y 16% poliinsaturados. La distribución de metales pesados, en los cuatro componentes analizados presentaron el siguiente patrón Ni>Zn>Cu>Pb>Cd>Hg en cascarón; mientras que en sangre, clara y yema fue Zn>Ni>Cu>Pb>Cd>Hg. En el tejido sanguíneo los niveles de Hg registraron valores por debajo del límite de detección (<0.0015 µg/g). Asimismo, se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones medias de cascarón en Cd, Cu, Zn y Ni, elementos analizados en las fracciones del huevo, comportamiento contrario a lo observado en sangre de tortuga golfina. La marca isotópica del plomo en muestras de sangre de *L. olivacea* proviene de una fuente natural del elemento. De acuerdo a normas y límites máximos permisibles con respecto a elementos tóxicos, el estado de salud de dicha población anidadora es aceptable y corresponden a niveles básicos de una región prístina. La extracción de sangre y huevo en tortuga marina son técnicas no invasivas deseables para fauna silvestre amenazada o bajo estatutos de protección, debido a que son eficientes para determinar la concentración de metales pesados estableciendo así la condición de salud del organismo.

Palabras clave: tortuga golfina, metales pesados, La Escobilla, monitoreo no invasivo

1. Introducción

Las tortugas marinas han cautivado por muchas y diversas razones la imaginación de los humanos desde tiempos milenarios. Proveedoras de sustento alimentario, económico y espiritual de grupos sociales distribuidos alrededor de todo el mundo, forman parte del entramado cultural de muchas regiones costeras (Frazier, 1999).

Es evidente que las tortugas marinas fueron un componente importante en la dieta y la cultura de muchos de los antiguos núcleos sociales. Desde tiempos prehispánicos el consumo de carne y huevo de tortuga marina ha sido un componente importante en la dieta de los habitantes asentados en el litoral; además de su valor nutricional, se le atribuye específicamente al huevo propiedades vigorizantes y afrodisíacas (Frazier, 1999).

En México se encuentran seis especies de tortugas marinas en zonas de alimentación y anidación a lo largo de las costas del Caribe, Golfo de México y Pacífico mexicano. La especie de mayor distribución que anida de junio a diciembre, es *Lepidochelys olivacea* (tortuga golfina); típica de las aguas tropicales de los océanos Índico, Pacífico y Atlántico Central. En el Pacífico Oriental se encuentra desde el noroeste de la Península y el Golfo de California hasta la frontera norte de Chile, con áreas de concentración en el suroeste de la península de California, sur de Sinaloa, Michoacán, Guerrero y Oaxaca en México (Márquez *et al.*, 1989; Briseño-Dueñas, 2002).

Se pueden describir tres áreas de mayor abundancia en el Pacífico Oriental, la del norte que corresponde a la costa mexicana, desde la boca del Golfo de California y costa suroeste de la Península hasta el Istmo de Tehuantepec; la central, principalmente frente a Costa Rica e incluye también Nicaragua y Panamá y la sureña particularmente frente a Colombia, Ecuador y norte de Perú. Las congregaciones norte y central están formadas de poblaciones de carácter

reproductor y a la sureña concurren tortugas adultas en fase vegetativa, provenientes desde México y Centroamérica (Márquez *et al.*, 1989).

México y Costa Rica cuentan con las poblaciones reproductoras más importantes del continente americano. Dicha especie es la más espectacular en sus hábitos reproductivos ya que puede formar durante 2 ó 3 noches, arribazones que llegan a reunir más de 100,000 hembras. Las playas de anidación más importantes en la actualidad son: La Escobilla y Morro Ayuta, en el estado de Oaxaca, México; Ostional y Nancite en Costa Rica y Gahimarta en el distrito de Orissa, en India (Briseño-Dueñas, 2002).

En zonas de grandes arribadas de tortugas, se provoca una alta contaminación del sitio de anidación y mortalidad de huevos en diferentes etapas de desarrollo. Por tanto, una cosecha controlada permitiría implementar técnicas de aprovechamiento del mismo basadas en un programa de recolección y así contribuir a la utilización sustentable del recurso como lo describe Mrosovsky (2001) en la Figura 1.

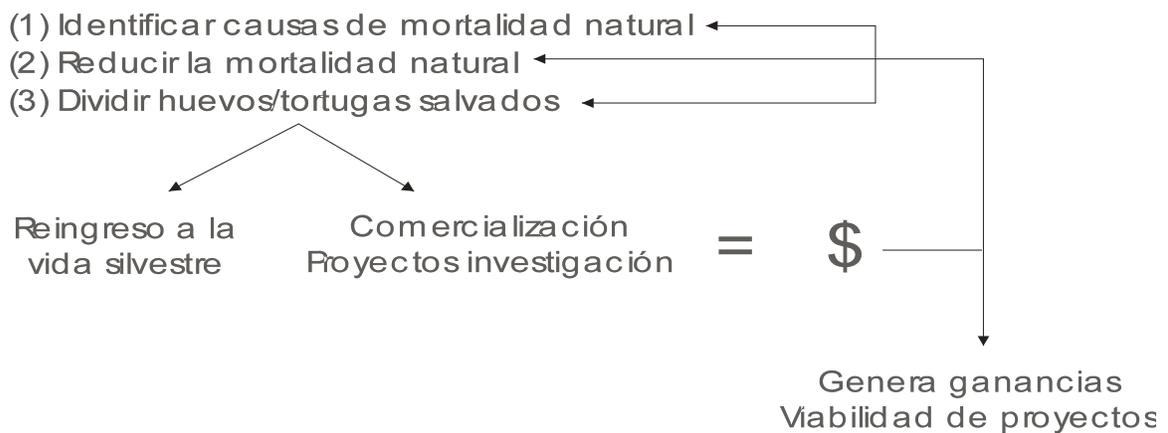


Figura 1. Estrategia para el posible aprovechamiento del huevo de tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* en colonias de arribada según Mrosovsky (2001).

Las preferencias dietéticas de las tortugas marinas pueden ser influenciadas por experiencias tempranas; sin embargo, la abundancia relativa y la variedad de presas disponibles pueden afectar su comportamiento alimentario. La ingesta también puede estar asociada a los ciclos de mareas y mostrar picos de actividad durante las horas de luz. El perfil y la forma de su pico pueden ser un indicador de lo que comen las tortugas en sus fases de juveniles avanzados y adultos; por tanto, *Lepidochelys olivacea* con mandíbulas fuertes y pico grueso, obtiene su alimentación en los fondos marinos desde una o dos brazas hasta más de 50 brazas de profundidad, aunque también se han encontrado ejemplares alimentándose dentro de lagunas costeras y bahías, pues aprovecha diversos tipos de organismos tanto de fondo como de la superficie (Márquez *et al.*, 1976; Frazier, 1999).

1.1. Generalidades de los ácidos grasos

De la tortuga golfina se conocen los hábitos de los subadultos y adultos. En mar abierto, grandes concentraciones de ejemplares o flotillas se han observado alimentándose de organismos pelágicos como langostillas rojas (*Pleuroncodes planipes*), puestas de peces e incluso colonias de tunicados (*Pyrosoma*). Como componentes de la dieta incluyen medusas, cangrejos, peces, erizos, moluscos, caracoles, camarones, salpas y cantidades irrelevantes de restos vegetales (Meyers-Schöne y Walton, 1994; Márquez, 1996; Frazier, 1999).

Los lípidos incluyen grasas y aceites ordinarios, ceras y compuestos relacionados que se encuentran en los recursos animales y vegetales. Los ácidos grasos comunes contienen de cuatro a veinticuatro átomos de carbono con un grupo carboxilo terminal, completamente saturado o insaturado (1, 2 o más), siendo su fórmula general $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$. De acuerdo a la posición del primer doble enlace de la cadena, denominado omega, contando a partir del extremo metilo, existen tres familias de ácidos grasos poliinsaturados n-3, n-6 y n-9. Algunos ácidos grasos se clasifican como “ácidos grasos esenciales” porque no

pueden ser sintetizados por el cuerpo humano y además son necesarios para funciones vitales, éstos son los de las familias n-6 y n-3, conocidos comúnmente como omega 6 y omega 3.

Los alimentos de origen marino en la dieta han tenido un papel crucial en la evolución del *Homo sapiens*, (Rice, 1998). Hipotéticamente el desarrollo del cerebro en las diferentes especies de mamíferos depende en parte de los omega 3 de la dieta que estos organismos hayan consumido a lo largo del tiempo. Así, aquellas especies con un buen acceso a los omega 3, han desarrollado un cerebro y sistema nerviosos más grande y complejo. De igual forma menciona, que las primeras civilizaciones se asentaron en lugares cercanos a cuerpos de agua proporcionándoles rico abasto de AG omega 3 y existen evidencias que hay relación entre el ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6n3) proveniente de la dieta y los niveles de DHA del cerebro.

Los efectos benéficos de los ácidos grasos omega 3 en la salud humana se ven evidenciados durante la gestación al ser componentes estructurales del cerebro y de la retina durante el desarrollo del feto y reduciendo la incidencia de partos prematuros e incrementando el peso al nacimiento; durante el crecimiento ayuda a la mejor agudeza visual, son esenciales para el crecimiento y desarrollo normal, juegan un papel importante en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades sobre el sistema cardiovascular, sistema inmunológico y sistema nervioso y por último tienen relación estrecha con el tratamiento de enfermedades como diabetes tipo 2, cáncer, colitis ulcerativa, obstrucción pulmonar crónica, enfermedades renales, psoriasis y artritis reumatoide (Castro-González, 2002).

Actualmente, se considera que una buena alimentación depende del consumo de una variedad de alimentos que aporten calidad y cantidad de nutrientes necesarios para mantener al organismo saludable. En los últimos años estudios nutricionales han demostrado que gracias a la ingesta de alimentos ricos en ácidos grasos poli-insaturados de origen marino, se favorecen funciones como:

transporte de vitaminas liposolubles (A,D,E,K) a todo el cuerpo; secreción de bilis y absorción de calcio; producción de hormonas sexuales; mantenimiento de elasticidad en la piel; efectos benéficos durante la gestación, el crecimiento y tratamiento de enfermedades degenerativas.

1.2. Metales trazas: fuentes y efectos

Uno de los factores que modifica el entorno costero es la contaminación proveniente de residuos industriales y urbanos, y efluentes de actividades agrícolas, acuícolas y mineras; los cuales representan un peligro para la fauna aledaña, porque acarrear consigo, entre otros, metales pesados que tienden a bioacumularse y afectan al suelo, la vegetación, el aire y los cuerpos de agua receptores.

El aporte de metales al ambiente acuático se da principalmente por procesos de intemperismo de las rocas, degasificación, vulcanismo, actividad antropogénica, hidrotermalismo y emisiones atmosféricas. En los ecosistemas acuáticos los metales de mayor importancia desde el punto de vista ambiental son: (Libes, 1992; Páez-Osuna, 1999): Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Sb, Pb y Zn, recibiendo principal atención por su alta bioacumulación en la cadena trófica marina el mercurio y el plomo.

La toxicidad de los metales pesados está influenciada por factores de tipo fisicoquímico (salinidad, pH, Eh, dureza) y biológico (edad, talla, hábitos alimenticios, madurez). En el ambiente marino la contaminación crónica del medio puede provocar modificaciones ecológicas susceptibles de amenazar el equilibrio natural. Por lo tanto se hace referencia a procesos como bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación donde los mecanismos de absorción, retención y acumulación de un compuesto químico puede llegar al organismo acuático desde diferentes vías de exposición como a través de la superficie respiratoria y piel; ingestión de alimento, absorción dérmica e intercambio respiratorio; y al

exceder la concentración respecto a su nivel trófico anterior respectivamente (Gutiérrez-Galindo, 1982; Páez-Osuna y Frías-Espéricueta, 2001).

Algunos metales pesados en comparación con otros contaminantes pueden actuar a nivel fisiológico como micronutrientes indispensables para los seres vivos teniendo diversas funciones, particularmente enzimáticas; mientras que otros son reconocidos por sus efectos tóxicos y pueden interrumpir la actividad biológica en los diferentes niveles tróficos de los ecosistemas acuáticos, aún en concentraciones muy bajas (Gutiérrez-Galindo, 1982; Páez-Osuna, 1996).

Los efectos de estos elementos en los organismos se asocian con perturbaciones de los sistemas enzimáticos en los compartimentos intracelulares. El cadmio se acumula en los tejidos y lesiona principalmente los mecanismos de regulación de iones. El cobre al igual que el mercurio y el zinc se ha observado que provoca un efecto inhibitorio importante en el metabolismo respiratorio, así como efectos subletales y una disminución de la movilidad de gametos. El arsénico inorgánico es considerado más tóxico provocando efectos agudos, subcutáneos y crónicos. Con respecto al níquel, los efectos cubren un amplio intervalo de respuestas a su exposición. Los efectos crónicos y agudos del plomo incluyen daños histopatológicos, deformidades, neuro-toxicidad, anemia hemolítica e inhibición de la síntesis de la hemoglobina (Páez-Osuna, 2005).

El presente trabajo pretende determinar la condición, el contenido de metales pesados y ácidos grasos en el huevo y en la cadena de madre a huevo de tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*), para establecer la relación entre la salud de los mares con la humana por efectos ambientales y/o antropogénicos, lo que permitiría elucidar la conservación biológica de la especie en una zona donde se evidencia una recuperación incipiente.

Antecedentes

2.1. Ácidos grasos

Los lípidos totales cuantifican de forma general el contenido de ácidos grasos libres, triglicéridos, colesterol y vitaminas liposolubles. Por otra parte, el contenido de grasa en la hembra reproductora, se encuentra asociado directamente con la composición y disponibilidad de alimentos ingeridos en los amplios hábitats de forrajeo visitados por las tortugas marinas durante los meses previos a la temporada de anidación, lo cual es reflejado en el perfil de ácidos grasos del individuo (Bjorndal, 1997).

Muestras de tejido adiposo de las capas adyacentes al plastrón de tres especies de tortugas marinas del Atlántico (*Dermochelys coriacea*, *Caretta c. caretta*, *Lepidochelys kempii*) y seis especies de tortugas dulceacuícolas de Norteamérica fueron empleadas por Ackman *et al.* (1971) para establecer una comparación de la composición de ácidos grasos en depósitos grasos de estas especies. Hallaron de dos a cuatro veces más ácidos grasos saturados en tortugas marinas que en tortugas de agua dulce, además de una alta proporción de ácido eicosapentaenoico (EPA, 20:5n3), ácido docosahexaenoico (DHA, 22:6n3) solamente en depósitos grasos de tortugas marinas y contenidos elevados de ácido araquidónico (20:4n6 y 22:4n6) en tortugas de agua dulce; así como la presencia de un ácido graso inusual únicamente en tortugas marinas, el (16:1n10). La presencia y contenido de ácidos grasos en las diferentes especies de tortugas marinas y de agua dulce es atribuido a su alimentación.

Joseph *et al.* (1985), analizaron tejidos con depósitos grasos y aceites de ejemplares silvestres y mantenidos en cautiverio de tortuga verde (*Chelonia mydas*), manifestando que la composición de ácidos grasos en tortugas en cautiverio están influenciados por la dieta y pelletizados suministrados predominando 16:0, 18:1n9 y 18:2n6 debido a la actividad restringida y a la disponibilidad de alimento. Tortugas en estado silvestre, al mantener una dieta predominantemente herbívora con periodos de inanición, evidenciaron un

predominio de 12:0, 14:0, 16:0 y 18:1n9 lo que conlleva a generar depósitos de grasa en el organismo. De manera general, en ambos casos se encontraron bajos porcentajes de ácidos grasos poliinsaturados con un contenido sustancial de 12:0 y 14:0 probablemente por la biosíntesis y la β -oxidación, asegurando que éstos son específicos y característicos de aceites provenientes de tortuga verde.

Ackman *et al.* (1992), a partir de muestras de depósitos grasos de algunos individuos de *Chelonia mydas* (tortuga verde) del Pacífico central analizaron la composición de los ácidos grasos y encontraron que éstas tienen cadenas largas de ácidos grasos que generalmente las emplean para sintetizar sus depósitos de triglicéridos. Sugieren que este mecanismo es utilizado como una vía simple para el almacenamiento de energía a partir de los carbohidratos de la dieta.

Mora-Castro *et al.* (1997) en playa Ostional, Costa Rica, analizaron cascarones, claras y yemas, de *Lepidochelys olivacea* realizando determinaciones de humedad, proteínas, lípidos, cenizas y carbohidratos a cada uno de los componentes. Encontraron que la parte comestible del huevo de tortuga contiene aproximadamente la mitad de los lípidos y proteínas del huevo de gallina y el mismo porcentaje de carbohidratos, además contiene 2.3 veces menos colesterol que la parte comestible del huevo de gallina y éstos contienen ácidos grasos esenciales.

Guitart *et al.* (1999) evaluaron la composición de los ácidos grasos presentes en diferentes tejidos de delfín (*Stenella coeruleoalba*) y tortuga marina (*Caretta caretta*) en el Mar Mediterráneo. En los resultados de este trabajo se encuentra una composición similar de ácidos grasos, una relación muy cercana de poliinsaturados n-3/n-6 y un alto contenido de ácido araquidónico en el hígado, atribuido a la gran variedad de organismos que se incluyen de forma más o menos igual en la dieta carnívora de estas dos especies.

Castro-González *et al.* (2003) en plasma de crías del lobo marino *Zalophus californianus californianus* de Los Islotes, Baja California Sur, México, analizaron la cantidad y tipo de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados presentes en hembras y machos. Encontraron una mayor frecuencia de ácidos grasos poliinsaturados en ambos grupos de individuos con valores heterogéneos, probablemente influenciados por los períodos de alimentación y concluyen que los ácidos grasos plasmáticos pueden ser utilizados como valores de referencia con respecto a otras poblaciones.

2.2. Metales pesados

2.2.1. Generalidades en fauna

El término de metal pesado es atribuido al conjunto de diversos elementos químicos con alta densidad ($>5 \text{ g/cm}^3$) que podrían causar efectos adversos de contaminación, toxicidad y/o ecotoxicidad (Förstner y Wittman, 1979; Mance, 1987). A menudo es usado indistintamente como metal traza debido a que está presente en bajas concentraciones en los organismos, sin embargo, dicho término podría implicar la presencia de un requerimiento esencial de ese elemento por parte del organismo. Por lo tanto, se pueden dividir en esenciales y no esenciales. Muchos metales son esenciales para la vida como sodio, potasio, calcio; asimismo, existen aquellos que son esenciales únicamente en organismos específicos como aluminio, cromo, cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, estaño, vanadio y zinc. Dentro del listado de los no esenciales se incluye al cadmio, oro, plomo, mercurio y plata (Furness y Rainbow, 1990).

Cu y Zn son elementos esenciales en vertebrados y están asociados a numerosas metaloenzimas y metaloproteínas. Las concentraciones de dichos metales son reguladas por el propio organismo y demostrar un aumento relativo con la edad es poco probable. Sin embargo, cuando las concentraciones dietéticas

son bajas, podría ser relativamente importante su papel en la absorción de otros metales (Thompson, 1990; Caurant *et al.*, 1999; Páez-Osuna, 2005).

El Ni es un elemento que forma múltiples compuestos y éstos difieren notablemente en su toxicocinética. Se encuentran muy pocos datos sobre los efectos en vertebrados marinos aunque lo reportan como no esencial y presenta concentraciones no mayores a 1 $\mu\text{g/g}$ en base a peso húmedo (Thompson, 1990; Ramírez, 2006).

Uno de los elementos más movilizados por el hombre es el Pb, sin cumplir función biológica alguna y exhibe una ligera tendencia acumulativa con la edad del organismo. Asimismo, los niveles presentes en vertebrados marinos son reflejo de la relación directa con el transporte atmosférico y ambientes costeros contaminados (Thompson, 1990; Páez-Osuna, 2005).

El Hg se encuentra presente en forma orgánica e inorgánica en el ambiente siendo ambas formas químicas letales para los organismos. Su peligrosidad radica en la capacidad de biotransformación estando acumulado en riñones, hígado, bazo y huesos principalmente. Exhibe mayor o menor relación entre la edad del ejemplar y la concentración de este elemento, la cual difiere entre los diferentes grupos de vertebrados marinos (Thompson, 1990; Storelli y Marcotrigiano, 1998; Ramírez, 2006).

En vertebrados el Cd ingresa al organismo por vía respiratoria y gastrointestinal pudiendo localizarse en ciertas fracciones de metaloproteínas y metalotioneínas de bajo peso molecular; riñones e hígado son órganos vulnerables de acumulación. Se reportan datos sobre su carácter carcinógeno sin cumplir una función biológica específica en el organismo (Thompson, 1990; Páez-Osuna, 2005; Ramírez, 2006).

Honda *et al.* (1982) e Itano *et al.* (1984) estudiaron la distribución de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Hg y Se, en órganos y tejidos de ejemplares del delfín *Stenella coeruleoalba*, capturados vivos en aguas cercanas a la Península Kii, Japón. Ellos observaron que estos mamíferos marinos acumulan metales principalmente en el hígado, riñón, músculo, piel y una baja cantidad en el tejido graso. Asimismo, la concentración de Hg total y Se en muchos tejidos aumenta con la edad pero se estabiliza entre los 20 y 25 años de vida del individuo. Atribuyen dichas variaciones a las condiciones biológicas del animal, fuentes alimenticias y alteración ambiental por actividades antropogénicas.

Amiard *et al.* (1987) comparan los patrones de bioacumulación de Cu, Zn, Cd y Pb en diferentes organismos de hábitos estuarinos y costeros, en donde muestran que las concentraciones de metales no esenciales (Cd y Pb) que pueden acumularse en los organismos, dependen principalmente de los niveles en los que éstos se encuentran en el ambiente y en el caso de los metales esenciales (Cu y Zn) la regulación se da por los mismos organismos, permitiendo que exposiciones prolongadas no los afecten durante periodos cortos de contaminación.

Trabajos realizados con invertebrados marinos en la India con *Scylla serrata* (Krishnaja *et al.*, 1987) y *Uca annulipes* y *U. triangularis* (Uma Devi, 1987), presentan daños histopatológicos a consecuencia de los efectos tóxicos producidos por Hg, Cd, Pb, As, Se, Cu y Zn. Por otra parte, las exposiciones prolongadas de cada uno de los metales causan cambios degenerativos y las condiciones del hábitat juegan un papel importante sobre éstos.

Fujise *et al.* (1988) determinaron Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd y Hg en tejidos de ejemplares adultos, hembras y machos de marsopa (*Phocoenoides dalli*) atrapados por redes de pesca en Pacífico Nororiental. Las concentraciones más altas estuvieron presentes en hígado y las más bajas en tejido graso. Metales como Zn, Ni y Cd mostraron una acumulación específica en piel, hueso y páncreas

respectivamente. Siendo un mamífero que en la zona se caracteriza por ocupar un alto nivel trófico, los resultados obtenidos sirven como base para una comparación ecológica y fisiológica dentro de la cadena alimenticia.

Una revisión sobre los efectos del Hg en organismos silvestres fue compilada por Wolfe *et al.* (1998). Destacan que los mecanismos de toxicidad del Hg y MeHg de mamíferos, aves, reptiles y anfibios por exposiciones a diversas fuentes de contaminación repercuten a nivel bioquímico, enzimático, neuronal e inmunológico. Aunque, mencionan que es casi desconocido el efecto con reptiles y anfibios.

Algunos estudios han demostrado los efectos nocivos sobre la salud humana del Hg y MeHg asociado con exposiciones y consumo de pescados tanto de origen marino como continental (Stern, 2004; Dórea y Barbosa, 2004; Johnsson *et al.*, 2004; Anderson y Wolff, 2005; Mendola *et al.*, 2005; Vupputuri *et al.*, 2005; Knobeloch *et al.*, 2005 y Huang *et al.*, 2005). Lo anterior atribuido a la neurotoxicidad de estos elementos, especialmente a nivel cerebral y del sistema nervioso central. Igualmente genera daños potenciales en el sistema cardiovascular, así como a nivel hepático y renal, está asociado a un alto riesgo de malformación durante el embarazo y en nacimientos. Determinados autores atribuyen una acción antagónica de estos efectos, con el consumo de frutas que contrarrestan la bioacumulación de Hg y MeHg, y por otra parte a la presencia de los benéficos ácidos grasos n-3, que reducen las elevaciones en la presión arterial y que se hallan presentes en las especies acuáticas comerciales de consumo.

Asimismo, en estudios realizados por Segovia *et al.* (1998 y 2004) en áreas del Pacífico Oriental mexicano han determinado que el enriquecimiento de Cd en las aguas costeras, proviene principalmente de zonas de surgencia y procesos físicos de advección y el restante se atribuye a fuentes antropogénicas. Concluyen que condiciones en la columna de agua como abundante biomasa de fitoplancton,

bajas temperaturas, alta disponibilidad de nutrientes son indicativas de surgencias y elevadas concentraciones de Cd.

Ruelas-Inzunza (2001), presenta la distribución de Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn en organismos de la zona intermareal, pelágica y de aguas profundas del área que comprende el bajo golfo de California y su relación con diferentes niveles tróficos. De manera general los tejidos que acumularon las mayores concentraciones de metales pesados fueron las vísceras, el hígado y las branquias. En la laguna de Guaymas, Zn y Cd presentaron biomagnificación pero en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, sólo el Cd evidencia esta tendencia. En la laguna de La Paz de los tres tejidos analizados en los individuos de *Stenella longirostris*, el riñón acumuló Cd y Zn; Cu se presentó mayormente en el hígado y el Pb predominó en músculo. Para organismos provenientes del campo hidrotermal hubo una mayor acumulación en branquias y en el vestimento de las dos especies representativas, que fueron *Calypptogena magnifica* y *Riftia pachyptila*.

En el delfín *Stenella longirostris* y en la ballena gris *Eschrichtius robustus*, Ruelas-Inzunza *et al.* (2003), determinaron la distribución de Hg y MeHg en tejidos de ejemplares varados a lo largo de las costas del bajo Golfo de California. Las concentraciones medias de Hg total en el delfín tornillo mostraron un orden decreciente siguiendo el patrón hígado>riñón>músculo. Por otra parte, los niveles de MeHg no presentaron diferencias significativas entre los organismos estudiados y los autores consideran que la presencia de dichos elementos no fueron determinantes en el varamiento de estos mamíferos marinos.

A lo largo de los humedales situados en el centro y sur del estado de Sinaloa, en la costa pacífica mexicana, Calderón-Rodríguez (2005), determinó las concentraciones de Cu, Zn, Pb y Cd en hígado, músculo, molleja, plumas y sangre a nueve especies de aves acuáticas pertenecientes a la familia *Anatidae* y *Phalacrocoridae*. Encontró altos niveles de Pb y Cd en aves con hábitos granívoros recolectadas en la laguna de Chiricahueto; asimismo, cobre y zinc

presentaron concentraciones semejantes en los órganos y tejidos de las diferentes especies de aves estudiadas.

2.2.2. Metales en tortugas

El monitoreo biológico es el procedimiento por el cual se mide un tóxico potencial, sus metabolitos o un efecto químico no deseado en una muestra biológica, con el propósito de evaluar la exposición a ese agente (Ramírez, 2006). Los metales pesados han sido monitoreados extensamente en sistemas terrestres y acuáticos; sin embargo, muy pocos estudios han utilizado tortugas como monitores de la contaminación metálica en el ambiente (Stoneburner *et al.*, 1980; Meyers-Schöne y Walton, 1994).

Sakai *et al.* (1995) evaluaron los contenidos de Fe, Mn, Zn, Cu, Cd y Hg en músculo, hígado, riñón y huevos de tres diferentes especies de tortuga marina (*Caretta caretta* y *Chelonia mydas*) atrapadas por pesca incidental en las costas japonesas. Ellos encontraron que los metales pesados se pueden determinar usando los huevos no embrionados, causando así un menor impacto en sus poblaciones, lo que es deseable en términos de protección de una especie en peligro de extinción.

Vázquez *et al.* (1997) estudiaron los contaminantes presentes en cascarones de huevos de tortuga laúd, *Dermochelys coriacea* del Playón de Mexiquillo, México comparándolas con muestras de agua marina y sedimento del área de anidación. Determinan que las concentraciones de aceites y sus derivados por procesos relacionados con descargas provenientes de Lázaro Cárdenas son más elevadas en arena y cáscaras de huevo que en agua de mar. Sin embargo, los niveles de Cd, Ni, Zn, Cu y Pb son mayores en las muestras de arena con presencia de los tres primeros elementos en cascarones, siendo a través de la esta ruta que los huevos de tortuga laúd adquieren estos metales.

La concentración de As, Cd, Hg, Se y Zn fueron determinados en hígado y riñón de ejemplares varados de *Chelonia mydas*, *Caretta caretta*, *Eretmochelys imbricata* y *Lepidochelys olivacea* en la región sureste de Australia (Gordon *et al.*, 1998). Establecieron que las concentraciones de Cd, Se y Zn en riñón disminuyen con la edad del animal, mientras el Zn tiende a incrementarse en el hígado. De igual forma, destacan los altos contenidos de Cd en las diferentes especies y consideran arriesgado para la salud el consumo de carne de *C. mydas* por parte de los pobladores como componente frecuente de su dieta.

Caurant *et al.* (1999) analizaron la distribución de Cd, Cu y Zn en algunos tejidos y órganos de *Caretta caretta*, *Dermochelys coriacea* y *Lepidochelys kempii* varadas en el estuario de Gironde en la costa francesa. La distribución de estos metales en riñón, hígado y músculo son similares a las encontradas en mamíferos marinos o aves marinas, presentándose una concentración mucho mayor de Cd en riñón y Cd en hígado en tortugas marinas que en los otros organismos marinos, atribuido a la dieta y longevidad de estos vertebrados marinos.

Godley *et al.* (1999) midieron las concentraciones de Cd, Pb y Hg en órganos internos y nidos de ejemplares de dos especies de tortugas marinas, *Caretta caretta* y *Chelonia mydas* en la costa norte de Chipre al este del Mar Mediterráneo. Los valores más altos de mercurio se encontraron en hígado de *C. caretta*, zinc en riñón de *C. caretta* e hígado de *C. mydas* y en el caso del plomo estuvieron por debajo de los niveles de detección en ambas especies. En los huevos provenientes de los nidos las concentraciones de los tres metales tienden a ser mayores en *C. caretta*. Los autores lo atribuyen a los diferentes comportamientos alimenticios en áreas de forrajeo de las dos especies; que son carnívoros para la primera especie predominando en su dieta moluscos y crustáceos bentónicos.

Sakai *et al.* (2000) analizaron las concentraciones de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd, Co y Hg en tejidos y órganos de *Caretta caretta* y *Chelonia mydas*

capturadas por pesca incidental en aguas costeras de Japón. Las concentraciones de estos metales son relativamente altas en Fe, Cu, Cd, Ni y Hg para hígado y riñón; en hueso se registraron concentraciones elevadas de Mn, Zn y Pb; una mayor acumulación de Mn, Zn y Cd en páncreas; una elevada concentración de Cu en cerebro y la glándula de sal y grandes cantidades de Fe, Cu, Cd y Hg en músculo. También observaron que el caparazón es un buen indicador para monitorear la acumulación de Hg, Mn y Zn en el cuerpo, siendo una estrategia deseable en especies amenazadas.

Day (2003) a lo largo de la costa de Carolina del Sur, Georgia y norte de Florida, Estados Unidos, realizó estudios sobre la contaminación por mercurio en *Caretta caretta* empleando muestras de sangre, queratina y piel contrastadas con la acumulación en tejidos internos (hígado, riñón, músculo y médula espinal). Encontró que la sangre es el indicador más exacto de la carga de Hg interna en el organismo. Asimismo, discute que las escamas proporcionan un indicativo de la exposición a largo plazo en este quelonio y la sangre refleja exposiciones recientes.

Storelli y Marcotrigiano (2003) evaluaron las concentraciones de Hg, Cd y Pb en tejidos de cuatro especies de tortuga marina (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, *Lepidochelys kempii*, *Dermochelys coriacea*) de diferentes localidades. Los resultados de este estudio, muestran que los niveles de estos elementos tienden a acumularse en hígado, riñón y tejido calcificado al igual que ocurre con cetáceos y aves marinas. No obstante, la carga de los metales se modifica de acuerdo a la especie y comportamiento alimenticio sin poner en riesgo la salud de las tortugas marinas.

Storelli *et al.* (2005) analizaron la distribución de Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Fe y Se en diferentes órganos y tejidos de *Caretta caretta* provenientes del Mar Mediterráneo, en donde observaron altas concentraciones de Cd y Hg en tejido hepático y riñones. En el tejido adiposo el Zn fue significativo, así como Se y Cu

en hígado; además, indican que el papel antagónico del Se ante los efectos tóxicos del Hg, no es importante para las tortugas marinas.

Durante la necropsia de veintinueve individuos de *Caretta caretta* proveniente de la parte oeste del Mar Mediterráneo, Maffucci *et al.* (2005) determinaron la concentración de Cd, Cu, Hg, Se y Zn en hígado, riñón y músculo encontrando que no hay influencia del sexo del ejemplar sobre la concentración de tales elementos; asimismo, destacan la presencia de una alta correlación entre Cd, Cu y Zn en hígado y riñón que sugieren un eficiente proceso de detoxificación ayudando a prevenir la toxicidad del cadmio en la tortuga amarilla.

Frías-Espéricueta *et al.* (2006) determinaron la concentración de cadmio, cobre y plomo en ejemplares *Lepidochelys olivacea* varados en Playa Ceuta, México. Los niveles más elevados predominaron en corazón para Cu; el Pb en tejido hepático y renal y la mayor concentración registrada para Cd fue en riñón. Al ubicarse dicha playa dentro del área de lagunas costeras del noroeste de México, los autores concluyen que los datos obtenidos son insuficientes para evidenciar el impacto de los metales pesados sobre dicha población y se requiere de una mayor investigación en este aspecto.

En el estudio realizado por Aguirre *et al.* (2006), se hace una reseña sobre los peligros potenciales asociados con el consumo de tortuga marina, por la ingesta de carne, tejido adiposo, órganos, sangre y huevos atribuidos a la presencia de bacterias, parásitos, biotoxinas, metales pesados y organoclorados produciendo efectos adversos en la salud humana. En relación con los niveles medidos en metales pesados y compuestos organoclorados, estos pueden generar efectos tóxicos y cancerígenos, ya que exceden las normas internacionales de seguridad en alimentos.

3. Planteamiento del problema

Todas las especies de tortugas marinas en las costas de México, se encuentran dentro de la categoría de especie en peligro de extinción dentro de la NOM ECOL 059-2001 y son consideradas especies prioritarias para la conservación. La tortuga golfina; *Lepidochelys olivacea*, presenta en ciertas colonias un comportamiento típico reproductivo de arribada masiva, que se cataloga como abundante dentro del grupo de tortugas marinas vivientes.

Por tanto, se presenta y discute la concentración de metales pesados y ácidos grasos en huevos y los respectivos niveles en sangre de la hembra reproductora de tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) de la colonia anidadora de playa Escobilla, Oaxaca, México, durante la temporada de anidación 2005 – 2006. Este estudio proporciona información útil desde un punto de vista ecológico como indicativo de la salud de la población anidadora atribuido a una certificación de calidad por la ausencia de contaminantes como metales pesados que puedan repercutir en la salud y así como nutricional por la presencia de ácidos grasos esenciales.

4. Objetivos

4.1. General

Identificar y cuantificar el contenido de ácidos grasos y determinar las concentraciones de metales pesados en huevo y sangre de tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) procedente de la colonia anidadora de la playa Escobilla, Oaxaca, durante la temporada de anidación 2005 - 2006.

4.2. Específicos

- Determinar las características biométricas de los organismos de tortuga golfina (*Lepidochelys olivacea*) recolectados.
- Cuantificar y caracterizar el contenido ácidos grasos saturados, monosaturados y poli-insaturados presentes en el huevo y plasma de tortuga golfina.
- Identificar diferencias en el contenido de ácidos grasos en clara y yema de huevo de tortuga golfina.
- Cuantificar las concentraciones de Hg, Pb, Zn, Cd, Ni y Cu en sangre, cascarón, clara y yema de huevo de tortuga golfina.
- Identificar y cuantificar los metales pesados que por efecto de cadena pueden ser transferidos de las hembras anidadoras a los huevos.
- Determinar la composición isotópica del plomo ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ y $^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) en el tejido sanguíneo de tortuga golfina.

5. Hipótesis

La tortuga marina *Lepidochelys olivacea* procedente de colonias de arribada presenta niveles inocuos de metales pesados en huevo y sangre, con una elevada concentración de ácidos grasos esenciales, atribuidos a sus hábitos alimenticios y su ambiente de distribución. El estudio de estos tejidos permitirá emplearlo como un parámetro indicador del estado de salud de la población anidadora en una playa prioritaria para la especie.

6. Metodología

6.1. Área de estudio

México se localiza en la porción norte del continente americano. Es el país latinoamericano más septentrional. Las coordenadas extremas que enmarcan al territorio mexicano son: 14° 32' 27" al sur de la desembocadura del Río Suchiate, frontera con Guatemala; 32° 43' 06" al norte en el Monumento 206, que es el punto más al norte frontera con Estados Unidos de América; 86° 42' 36" en el extremo sureste de la Isla Mujeres; al oeste 118° 27' 24" en la Punta Roca Elefante de la Isla Guadalupe, en el Océano Pacífico.

El estado de Oaxaca, se localiza al sureste de México con una extensión de 93,136 Km² (4.8% del territorio nacional). Las coordenadas geográficas extremas son: al norte 18°39', al sur 15°39' de latitud norte; al este 93°52', al oeste 98°32' de longitud oeste. Región cubierta de montañas con pocos valles y planicies. Presenta casi todos los climas del país; templado, templado subhúmedo, seco extremo, cálido húmedo, cálido subhúmedo y vientos dominantes del norte y del este. A lo largo de 533 kilómetros de litoral, playas extensas caracterizan la costa oaxaqueña, donde desembocan gran número de ríos cortos que descienden de la Sierra Madre del Sur, formando esteros y lagunas; también hay playas naturales y bahías (Figura 2).

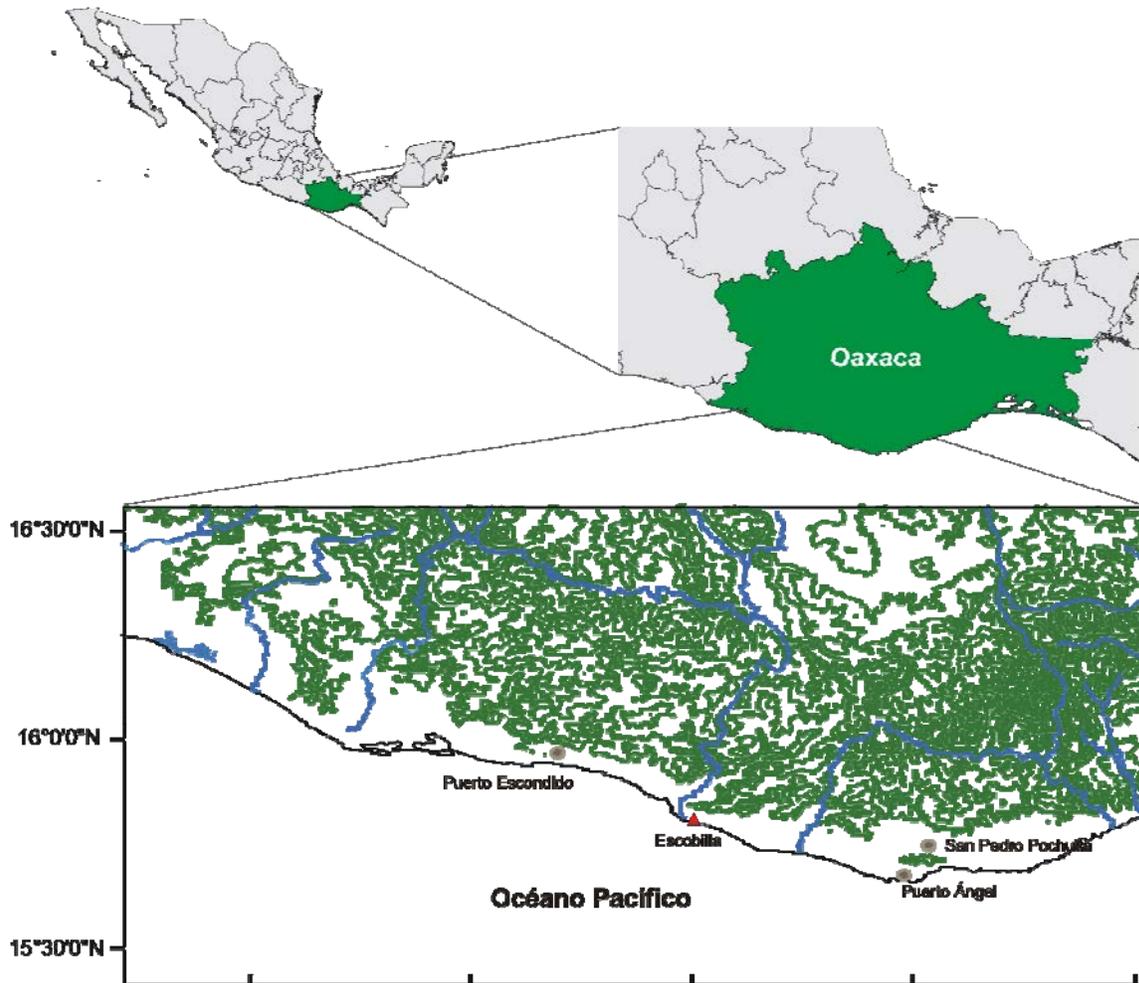


Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio. El triángulo indica el sitio de colecta para las muestras. Modificado de CONABIO 2005.

La reserva de tortugas marinas se encuentra en playa La Escobilla en el municipio de Cozoaltepec entre Puerto Escondido y Puerto Ángel. La playa de anidación se localiza en los $96^{\circ} 44'$ longitud oeste y entre los $15^{\circ} 47'$ latitud norte, con una extensión aproximada de 22 Km de largo y un ancho de 20 m. Al oeste delimita por la barra arenosa que forma con el río Cozoaltepec, al este por la barra de Tilapa y hacia el continente por pequeños esteros (Figura 2).

El perfil de la playa presenta ondulaciones y médanos. Se encuentra dividida en tres zonas: la primera es la zona húmeda y más angosta que presenta una inclinación cercana a 30°; la segunda es una plataforma de arena seca con una amplitud considerada y es el área donde más tortugas llegan a depositar sus huevos y la tercera área es la más distante del mar que se encuentra cubierta con vegetación dominada por *Ipomea pescaprae*, leguminosa rastrera conocida como riñonina y *Distichilys spicata*, pasto de marisma. La sucesión de vegetación después del área de médanos inicia con cactáceas del género *Opuntia*; *Rizophora mangle* en las zonas cercanas a los esteros; la vegetación inmediata corresponde a bosque espinoso (Guerrero *et al.*, 1992; Peñaflores *et al.*, 1998).

La región presenta un clima cálido subhúmedo de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1973), con un rango de temperaturas que varía de 27.4 ° C en enero y febrero hasta 34 ° C de mayo a julio. La temporada de lluvias abarca generalmente de mayo a octubre, siendo septiembre el mes más lluvioso con una precipitación de 338 mm, y abril el más seco con una precipitación de 0.1 mm. El régimen de mareas para la zona es de tipo semidiurno, ocurriendo por lo tanto, dos pleamares y dos bajamares (Casas-Andreu, 1978).

6.2. Materiales y equipo

Para el desarrollo del presente proyecto se contó con los equipos, instrumentos, material e infraestructura del laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Unidad Académica Mazatlán. En Ciudad de México, con los laboratorios de la Dirección de Nutrición Animal perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán”. Por otra parte del Laboratorio de Ciencias de la Tierra de la Universidad de California en Santa Cruz, California, Estados Unidos gracias a la participación del Dr. Martín Soto Jiménez.

6.3. Obtención de las muestras

6.3.1. Trabajo en campo

Debido a que las tortugas marinas se encuentran dentro de la categoría de especie en peligro de extinción en la NOM ECOL 059-2001, la colecta de huevos y extracción de sangre se realizó bajo el Permiso Especial SGP/DGVS No.06195 que concedió la Dirección General de Vida Silvestre - SEMARNAT, para extraer material biológico del Santuario de Tortugas Marinas La Escobilla.

El muestreo se llevó a cabo durante la tercera arribada de tortugas en playa La Escobilla en la temporada 2005 - 2006, entre los días 10 y 14 de agosto de 2005 en esa playa. Como población muestral se registraron veinticinco hembras anidadoras en tres estaciones de muestreo, seleccionadas aleatoriamente entre las secciones balizadas de la zona de playa con las estacas 10 a 22 del Área Natural Protegida.

Las medidas y pesos de las tortugas anidadoras se efectuaron a los individuos seleccionados al azar, mediante un muestreo aleatorio simple considerando el tamaño de los individuos, es decir, buscando cubrir hembras de todas las tallas disponibles. Las dimensiones del caparazón fueron realizadas con la ayuda de una cinta métrica para registrar el ancho curvo del caparazón (ACC) y el largo curvo del caparazón (LCC). La primera medición se realiza teniendo en cuenta el punto más amplio del caparacho de la tortuga y con la condicionante de ubicar al ejemplar sobre el pastrón. La segunda medición, va desde el punto medio anterior (escudo nuczal) al extremo posterior entre los escudos supracaudales (Bolten, 2000) (Figura 3).



Figura 3. Mediciones anatómicas del ancho y largo curvo del caparazón de *Lepidochelys olivacea* durante la temporada 2005-2006.

Diez huevos procedentes de dichas hembras fueron recogidos en el momento del desove y se transportaron en bolsas de polietileno para ser medidos y pesados en el laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera, ICMYL, UNAM. Por otra parte, las muestras sanguíneas extraídas del seno cervical dorsal (Figura 4), fueron recolectadas con jeringas desechables, luego de una primera desinfección del área con torundas impregnadas con alcohol antiséptico, a fin de ser transferidos a tubos Corning de polipropileno para el análisis posterior de metales pesados.



Figura 4. Extracción y recolección de sangre en tortuga golfina procedente de playa Escobilla, Oaxaca, México.

Asimismo, las muestras sanguíneas trasladadas en tubos Vacutainer fueron sometidas a centrifugación (10 min a 6000 rpm), obteniendo plasma sanguíneo que fue empacado con una solución de Etoxiqúin al 1% para determinar el perfil

de ácidos grasos (Castro-González *et al.*, 2003). Cabe mencionar que durante el trabajo en campo es recomendable para la extracción y preservación del tejido sanguíneo en tortuga marina, trabajar con jeringas desechables individuales y tubos que incluyan como anticoagulantes heparina con EDTA.

Una vez concluido el proceso de camuflaje del nido por parte de la tortuga, se procedió a registrar el peso del individuo en una balanza granataria digital marca Ohaus (± 0.9 g), previamente tarada y limpia, anotando el valor de la masa corporal de la hembra cuando ésta detuviera el movimiento de sus aletas (Figura 5).



Figura 5. Registro del peso de hembras anidadoras de tortuga golfina de playa Escobilla durante la temporada 2005-2006.

Todo el material biológico fue transportado en hieleras a baja temperatura (4°C) al laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

6.3.2. Trabajo en laboratorio

El proceso de limpieza de los huevos fue llevado a cabo con agua purificada milli-Q para proceder con el pesaje en una balanza granataria de tres brazos marca Ohaus (± 0.1 g) y medición del diámetro con la ayuda de un vernier plástico marca Scala. El fraccionamiento de los huevos se realizó con la ayuda de

un bisturí de acero inoxidable, obteniendo así las muestras de clara, cascarón y yema para la determinación de los respectivos metales pesados y ácidos grasos.

6.4. Procesamiento de las muestras

A partir de los 10 huevos recolectados de cada una de las hembras anidadoras, éstos se dividieron en dos grupos (pools) de 5 huevos fraccionados en sus respectivos componentes (clara, cascarón y yema de huevo) de tortuga golfina. Se llevó a cabo el proceso de liofilización con la muestra compuesta de huevo así como con sangre del ejemplar, durante 72 horas a $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 133×10^{-3} mBar, empleando una liofilizadora marca LabConco hasta obtener el peso seco de la muestra. Resultando adecuado moler las muestras con un pistilo de teflón para conseguir un correcto homogenizado. Los posteriores análisis de metales pesados, se efectuaron mediante una alícuota (0.25 g) que resultó del liofilizado y molido del tejido sanguíneo y componentes del huevo.

6.4.1. Determinación de ácidos grasos

De acuerdo a la técnica descrita por Castro-González *et al.* (2001)

6.4.1.1. Lípidos totales

Se pesaron de 1 a 2 gramos de muestra liofilizada de la parte comestible del huevo (yema y clara) en un tubo de vidrio de centrífuga, al que se agregó 10 mL de una mezcla cloroformo-etanol 1:1. Luego de agitar en vórtex por un minuto y posteriormente en un agitador mecánico por 2 horas, se procedió a esperar aproximadamente 10 minutos para que se separaran la fase orgánica y la fase acuosa. En papel de filtro Whatman No. 42 sobre sulfato de sodio anhidro se filtró la fase orgánica en un tubo de vidrio de fondo cónico. Con cloroformo se lavaron tanto el tubo como la muestra filtrada varias veces sobre el sulfato de sodio anhidro del paso anterior. El filtrado (fase orgánica) debe de quedar transparente y

sin restos de agua. Por último, se evaporó a sequedad la fase orgánica del paso anterior en baño María a 40 ° C y con atmósfera de nitrógeno.

Para la cuantificación de los lípidos totales, se pesó el tubo con el evaporado del paso anterior y se sustrajo el peso del tubo vacío. Es decir, determinación de lípidos totales por diferencia de pesos como se describe a continuación:

$$\text{Lípidos totales} = (\text{Peso del tubo} + \text{lípidos}) - (\text{Peso del tubo})$$

6.4.1.2. Saponificación

Los lípidos totales de la muestra se reconstituyeron con 2 a 5 mL de hexano. Se agitó en vórtex durante un minuto hasta disolución para adicionar 5 mL de sosa metanólica al 2% (20 g de NaOH en 100 mL de etanol). Agitando por 30 segundos y por último ebullición a 80 ° C durante 10 minutos en baño María.

6.4.1.3. Metilación de los ácidos grasos

A la muestra fría, se le adicionó 1 mL de BF₃ (trifluoruro de boro), posterior agitación y ebullición en baño María a 80 ° C durante 2 minutos. Se enfrió y adicionó 5 mL de hexano para la extracción. Por 2 minutos se mantuvo a ebullición en baño María. Una vez fría, se agregó 3 mL de solución saturada de cloruro de sodio y se esperó de 10 a 15 minutos aproximadamente a que se separaran las fases. Después de tres lavados con hexano y se separó en tubo de vidrio con pipeta Pasteur sin pasar agua. Se procedió a evaporar a sequedad en baño María a 60 ° C y bajo atmósfera de nitrógeno. Por último, se adicionó 1 mL de FAME (miristoleico) y se decantó a un vial previamente purgado con cloroformo para inyectar en un cromatógrafo de gases.

6.4.1.4. Análisis de las muestras

Identificación y cuantificación mediante cromatografía de gases usando el equipo Varian Star 3400 CX que utiliza un inyector Split con detección por ionización de flama. Donde los ésteres metílicos de los ácidos grasos se identifican por sus tiempos de retención relativos a estándares comerciales como P-9125 de Sigma Chemical Co y SUPELCO 37 FAME MIX.

6.4.2. Determinación de metales pesados

6.4.2.1. Preparación del material de laboratorio

El material de vidrio y los implementos de polietileno utilizados fueron lavados de acuerdo al método propuesto por Moody y Lindstrom (1977), para evitar cualquier tipo de contaminación e interferencia en la corrida de las muestras. Dicho procedimiento consiste en múltiples lavados con agua corriente, enjuague con ácidos diluidos (HCl y HNO₃) por un periodo de 72 horas, enjuague con agua milli-Q y un último enjuague con agua milli-Q para ser secado al aire libre a temperatura ambiente y almacenado en un lugar seco (Figura 6).



Figura 6. Esquema del procedimiento para lavado de material para el análisis de metales pesados (Moody y Lindstrom, 1977).

6.4.2.2. Preparación de las muestras

Las muestras de los tejidos liofilizados y molidos (0.25 g) siguieron un proceso de digestión con 5 mL de ácido nítrico (HNO₃) concentrado, en un equipo de digestión de microondas (CEM MDS-2000) para descomponer la materia orgánica contenida en éstas. Las condiciones de operación del equipo de digestión se describen en la Tabla 1. Una vez obtenidas las soluciones digeridas se aforaron a un volumen de 25 mL con agua purificada en resina Chelex y fueron almacenadas en recipientes de polietileno para su posterior análisis.

Tabla 1. Condiciones de operación del equipo de digestión por microondas (CEM, 1994).

	Unidades	1ª Etapa	2ª Etapa	3ª Etapa
Potencia	Porcentaje	90	90	90
Presión	PSI	20	40	90
Tiempo	Minutos	10	10	30

Se utilizó el material de referencia IAEA/MA-A-3 constituido por tejido liofilizado de camarón y IAEA-MA-B-3/TM formado por músculo liofilizado de pez debido a que no todos los metales de interés en el presente estudio se encontraban incluidos en uno solo. Lo anterior, a fin de evaluar la precisión y exactitud de la técnica, así como para revisar y validar los procedimientos analíticos. Con los valores obtenidos de las muestras analizadas en las fracciones del huevo y tejido sanguíneo de *Lepidochelys olivacea*, se procedió a calcular el porcentaje de recuperación (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Concentraciones de los metales analizados y registrados en el material de referencia IAEA-MA-A-3/TM.

	Concentración reportada (µg/g)	Concentración encontrada(µg/g)	Valores de recuperación (%)
Cobre	22.01±0.7	16.3	74.0
Zinc	65.7±2.5	70.6	107.4
Cadmio	0.63±0.07	0.65	103.2
Níquel	1.50±0.55	2.00	133.0

Tabla 3. Concentraciones de los metales analizados y registrados en el material de referencia IAEA-MA-B-3/TM.

	Concentración reportada ($\mu\text{g/g}$)	Intervalo de confianza ($\mu\text{g/g}$)	Clase	Concentración encontrada ($\mu\text{g/g}$)	Valores de recuperación (%)
Cobre	3.08	2.85 – 3.57	A	2.37	76.9
Zinc	109.2	106.4 – 111.9	A	119.6	109.5
Plomo	4.62	3.85 – 5.13	A	3.13	67.7
Mercurio	0.51	0.47 – 0.61	A	0.50	98.0

6.4.2.3. Análisis de las muestras

Los metales pesados se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica en un equipo Varian SpectraA220. Se empleó horno de grafito para plomo, cobre, níquel y cadmio; flama para zinc y generador de hidruros para mercurio. Las concentraciones de cada elemento fueron obtenidas de acuerdo a una curva de calibración previa. Las condiciones de operación del espectrofotómetro de absorción atómica se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Condiciones de operación del espectrofotómetro para flama, horno de grafito y generador de hidruros para los elementos analizados.

	Longitud de onda (nm)	Ancho de banda (Å)	Mezcla combustible o gas acarreador	Corriente en lámpara (mA)
Zinc	213.9	1.0	Aire-acetileno	5
Cadmio	228.8	0.5	Nitrógeno	4
Cobre	327.4	0.5	Nitrógeno	4
Níquel	232.0	0.2	Nitrógeno	4
Plomo	283.3	0.5	Nitrógeno	5
Mercurio	253.7	0.5	Nitrógeno	4

El límite de detección (L_D) se define como la concentración neta verdadera de analito en el material sujeto a análisis que conducirá, con una probabilidad ($1-\beta$), a la conclusión de que la cantidad de analito en el material analizado es mayor que la de un blanco (IUPAC, 1995). Para determinar el L_D se emplearon soluciones con niveles muy cercanos a cero y/o blancos a los que se les realizó una serie de lecturas en el espectrofotómetro. Mediante la siguiente fórmula se obtuvo el cálculo de dicho límite:

$$L_D = 3.3\sigma_0$$

Donde σ_0 es la desviación estándar de la concentración neta cuando el analito no está presente en la muestra.

6.4.3. Determinación de isótopos del plomo

La composición isotópica del plomo presente en sangre de tortuga golfina, fue llevada a cabo mediante el análisis del digerido de una muestra compuesta en el espectrómetro de masas de alta resolución Element (método rápido). De igual forma, cuatro muestras fueron reanalizadas en un espectrómetro de masas multicolector (MC-ICP-MS) de ThermoFinnigan Neptune en el Laboratorio de Isotopía W.M. Keck de la UCSC, bajo condiciones rigurosas de limpieza para la determinación de nano-concentraciones y el uso de blancos de laboratorio para verificar la limpieza del procedimiento (Flegal *et al.*, 1993).

Para la determinación de isótopos estables fue necesario tomar alícuotas de las soluciones de muestras digeridas, primeramente evaporadas y reconstituidas con HCl y HNO₃ de alta pureza. Posteriormente, fueron purificadas en microcolumnas de teflón cargadas con una resina aniónica intercambiable AG1-X8 75-150, lavadas con HCl y HNO₃ para ser diluidas con HBr (Flegal *et al.*, 1993). Una vez cargadas las muestras, el Pb fue arrastrado de la columna con HCl 6M. Las muestras purificadas fueron colectadas en viales de teflón, secadas y redisueltas en 0.5 mL de HNO₃ al 2%. La concentración del Pb de la muestra fue determinada previamente en el HR-ICP-MS para optimizar la cantidad apropiada

de talio a agregar en la muestra. Todos los isótopos de Pb y el Tl fueron medidos en tasas de faraday con 100 proporciones en periodos de integración de 4 s (Rehkämper y Halliday, 1999).

El material de referencia para plomo fue NIST-SRM-NBS-987 y de acuerdo con los análisis de éste durante 3 años (n=76), las relaciones isotópicas de Pb determinadas en el estándar de referencia son $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 36.675 ± 0.007 , $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.484 ± 0.004 , $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 16.931 ± 0.003 , mientras que el encontrado fue 18.464 ± 0.002 para $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, 38.285 ± 0.002 para $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ y 15.613 para $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$.

6.5. Análisis estadístico

Empleando un muestreo aleatorio simple se seleccionaron 25 hembras y sus respectivos nidos, a lo largo del área de anidación comprendida entre la boca del río y las inmediaciones del campamento en playa La Escobilla. Diez (10) huevos fueron tomados al azar mientras la hembra depositaba la nidada en la oquedad hecha en la arena.

A los datos obtenidos de los análisis de metales pesados en huevo y sangre de tortuga golfina, se les determinaron parámetros de tendencia central (media aritmética y desviación estándar). Se emplearon las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Cochran's, para establecer en los datos criterios de normalidad y homocedasticidad respectivamente (Zar, 1999). Se utilizó estadística no paramétrica de acuerdo al comportamiento de los datos apoyándose en el paquete estadístico STATISTIC versión 6.0 y Prism versión 4.0.

Las concentraciones promedio de los metales pesados analizados en cascarón, clara, yema de huevo y sangre de la población de tortugas muestreadas en playa La Escobilla, se compararon mediante el análisis de varianza de Kruskal-Wallis, una prueba de estadística no paramétrica que no asume que la población

siga una distribución normal pero si toma en cuenta la homocedasticidad de la misma. El estadístico viene dado por:

$$K = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_{i.} - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (r_{ij} - \bar{r})^2}$$

Donde:

- ♣ N_g es el número de observaciones intragrupo g
- ♣ r_{ij} es la observación j intergrupo i
- ♣ N es el número total de observaciones en todos los grupos

$$\bar{r}_{i.} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} r_{ij}}{n_i},$$

Finalmente, la probabilidad asociada viene dada por:

$$\mathbf{P}(\chi_{N-g}^2 \geq K)$$

De acuerdo al criterio de Cochran se determinó la homogeneidad de varianza para los diferentes tejidos analizados, destacando que no fue necesario realizar transformaciones para cumplir con el supuesto de homogeneidad de varianza (Underwood, 1997). La prueba de Cochran trabaja sobre un conjunto de desviaciones estándar S_i , todas calculadas a partir del mismo número de resultados de un estudio o ensayo y su criterio es: $C = \frac{S^2 \max}{\sum S_i^2}$

El valor C se compara con el valor crítico de tablas para un nivel de confianza. Si C excede el valor crítico tabulado, el dato problema correspondiente es rechazado como no homocedástico. Para determinar las diferencias significativas cuando éstas existían se utilizó la prueba pareada de Dunn (Motulsky, 2003).

Utilizando la prueba pareada de comparación de medias que sigue una distribución t -Student con $n-1$ grados de libertad se buscó comprobar o rechazar la

hipótesis nula de igualdad en las medias poblacionales. Se debe aclarar que dentro de las suposiciones de la prueba no es obligatorio que los tamaños de los grupos sean iguales, ni tampoco es necesario conocer la dispersión que existe entre los mismos. De acuerdo al criterio del estadístico:

$$t = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$$

Donde:

- ♣ X_i es el valor observado
- ♣ \bar{X} es el valor promedio de la población muestral
- ♣ S es el valor de la desviación estándar muestral

Finalmente, la probabilidad asociada viene dada por:

$$P(T \leq c) = 1 - \alpha$$

Las comparaciones de medias, correlaciones entre dimensiones morfométricas de los ejemplares y análisis de varianza que se establecieron entre concentraciones de metales pesados, tanto en huevo como en sangre de tortuga golfina, se trabajaron con un nivel del 95% de significancia (Miller y Miller, 1988; Zar, 1999).

7. Resultados y discusión

7.1. Características biométricas

El muestreo fue realizado durante la temporada de anidación 2005 - 2006 que abarcó los meses de marzo a noviembre, en la cual se presentaron nueve eventos de arribada y justo durante la tercera arribada, se realizaron los muestreos donde se recolectaron huevos y sangre de un total de 25 ejemplares de tortuga golfina, en un transecto de franja de playa de aproximadamente 8 Km donde se concentra el mayor número de anidaciones. En la Tabla 5 se presentan los datos morfométricos de peso, largo curvo del caparazón (LCC) y ancho curvo

Tabla 5. Datos biométricos de *Lepidochelys olivacea* (tortuga golfina) muestreadas en playa La Escobilla, Oaxaca, México.

del caparazón (ACC) obtenidos de las hembras anidadoras seleccionadas aleatoriamente como población submuestral.

	n	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar
Peso (Kg)	25	34.0	24.7	42.7	4.4
LCC (cm)	25	66.4	62.5	73.0	2.7
ACC (cm)	25	70.7	63.3	77.0	2.9

En cuanto a la estimación de una relación entre la masa corporal de la hembra y las dimensiones del caparazón, se obtuvieron coeficientes de determinación $R^2 = 0.691$ para largo curvo y $R^2 = 0.297$ para ancho curvo del caparazón (Figura 7). Donde se observó un mejor ajuste de la tendencia lineal con pendiente positiva fue entre el peso del ejemplar y el largo curvo del caparazón, lo que coincide con lo previamente observado por la literatura especializada, aunque esta relación puede cambiar con el tiempo por la calidad del hábitat y por los efectos dependientes de la densidad en las especies de tortugas marinas (Bolten, 2000).

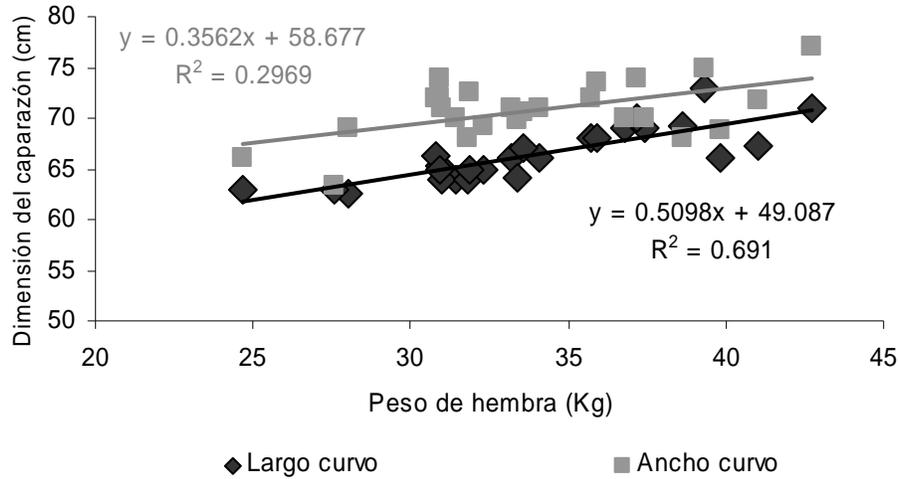


Figura 7. Relación entre el peso de la hembra con respecto a las medidas del caparazón de *Lepidochelys olivacea* de la colonia anidadora de playa La Escobilla.

Para analizar los huevos provenientes de cada una de las nidadas se realizaron grupos (pools) aleatorios sin seguir criterio alguno, de cinco huevos obteniendo así una muestra compuesta (A y B). En la Tabla 6 y 7 se observan las características merísticas del huevo con los porcentajes de humedad de acuerdo al componente analizado.

Tabla 6. Aspectos merísticos del huevo de tortuga golfina.

	n	Muestra compuesta A	Muestra compuesta B
Peso huevo (g)	250	30.1 ± 3.5	30.5 ± 3.8
Diámetro huevo (cm)	250	3.85 ± 0.29	3.78 ± 0.19

Las dimensiones morfométricas registradas para la colonia anidadora de La Escobilla, difieren de los rangos típicos establecidos para *Lepidochelys olivacea* según lo descrito por Márquez, 1996; Márquez *et al.*, 1976; Lutz y Musick, 1997. Los valores promedios que los autores describen para peso del adulto 38.1 Kg, longitud del carapacho 67.6 cm, diámetro y peso del huevo 3.97cm y 34.2 g

respectivamente. Lo anterior puede ser atribuido a las variaciones fisiológicas en el grado de madurez o desarrollo de las hembras anidadoras, conducta durante la alimentación y áreas de distribución que son características que definen a las especies e incluso a las poblaciones en su fase adulta.

Tabla 7. Porcentaje de humedad en huevos de *Lepidochelys olivacea* muestreada en playa La Escobilla, Oaxaca, México.

Componente	n	Muestra compuesta	Humedad promedio (%)
Clara	250	A y B	97.3 ± 1.9
Cascarón	250	A y B	59.0 ± 5.6
Yema	250	A y B	62.5 ± 2.9

De acuerdo a las proporciones de agua presentes en huevo de tortuga golfina, Mora-Castro *et al.* (1997) determinaron que el componente mayoritario de la clara es éste con 97.9 %, en yema representa 77.2 % y para cáscara 37 % en huevos recolectados de playa Ostional, Costa Rica. A pesar de provenir el material biológico en ambos casos de una colonia de arribada, únicamente se presentan diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las medias de la fracción yema (62.5 ± 2.9 %) y cascarón (59.0 ± 5.6 %) para la población anidora de playa Escobilla, atribuido en parte a las diferentes metodologías empleadas para la determinación de la humedad, o bien las características propias de cada población.

7.2. Ácidos grasos

De acuerdo a resolución emitida por el Comité Académico del Posgrado, se integran únicamente como Anexo los resultados del perfil lipídico obtenido en plasma de *L. olivacea* proveniente de la colonia anidora de playa Escobilla, Oaxaca, México. Lo anterior atribuido a que esta parte de los objetivos de la tesis no pudo alcanzarse, excepto por dichos resultados parciales.

7.3. Metales pesados

En el terreno de la ecología trófica en relación con la presencia y distribución de metales pesados en los organismos, la alimentación juega un papel importante en la incorporación de este tipo de elementos (Margalef, 1974). En relación a la variada alimentación de *Lepidochelys olivacea* que incluye peces, salpas, medusas, moluscos, crustáceos, algas y bajos porcentajes de briozoos, sipuncúlidos, ascidias y huevos de peces (Lutz *et al.*, 1997), se podrían asumir diferencias entre las concentraciones de los metales pesados analizados. En la Tabla 8 se presentan los niveles promedio y desviación estándar de los siete elementos analizados para huevo y sangre de tortuga golfina.

Tabla 8. Concentraciones ($\mu\text{g/g}$) en peso seco de metales pesados en huevos y sangre de *L. olivacea* procedente de playa La Escobilla, Oaxaca.

	Cu	Pb	Zn	Hg	Cd	Ni
Cascarón	7.48 ± 2.6	1.05 ± 0.2	12.4 ± 1.5	< 0.0015	0.47 ± 0.1	48.5 ± 12.9
Clara	3.53 ± 2.9	1.08 ± 0.2	33.6 ± 10.7	< 0.0015	0.22 ± 0.1	4.05 ± 3.9
Yema	2.20 ± 1.5	0.80 ± 0.2	72.3 ± 10.9	0.04 ± 0.02	0.24 ± 0.1	3.31 ± 0.6
Sangre	2.28 ± 0.4	0.97 ± 0.2	58.4 ± 4.7	< 0.0015	0.49 ± 0.2	2.78 ± 1.3

Los valores promedio elevados fueron encontrados en la fracción yema y en sangre para zinc ($72.3 \mu\text{g/g}$, $58.4 \mu\text{g/g}$ peso seco, respectivamente) y en cascarón para níquel ($48.5 \mu\text{g/g}$ peso seco). Las concentraciones de mercurio fueron las menores registradas para tejidos como cascarón, albúmina y sangre, reportando valores por debajo del límite de detección ($<0.0015 \mu\text{g/g}$). Asimismo, es importante destacar la presencia de mercurio detectable únicamente en la fracción yema del huevo de tortuga golfina.

Dentro de los metales esenciales trabajados, cobre y zinc, se destaca su presencia en la fracción yema. Los metales no esenciales, plomo, mercurio, níquel, y cadmio presentaron una mayor fluctuación en sus concentraciones en comparación con cobre y zinc (Tabla 8). Lo anterior es registrado por Storelli y Marcotrigiano (2003), Sakai *et al.* (1995), Stoneburner *et al.* (1980) para *Caretta*

caretta, quienes mencionan que las concentraciones de metales esenciales en yema son importantes porque contribuyen con los procesos fisiológicos para un exitoso desarrollo del embrión y estos metales son libremente transferidos de madre a huevo, siendo limitada la transferencia de metales tóxicos como mercurio y cadmio.

Sin embargo, cobre tiene una concentración significativa en cascarón y albúmina según Sakai *et al.* (2000) en *Caretta caretta* y *Chelonia mydas*, atribuido a que durante la incubación, los huevos de tortuga absorben minerales en mayor o menor grado al estar en contacto con la arena (Sahoo *et al.*, 1996b; Vázquez *et al.*, 1997) y por otro lado dentro de los componentes estructurales del cascarón de *L.olivacea* se encuentran once elementos incluido el cobre (Sahoo *et al.*, 1996a).

En la Figura 8 se ilustran los porcentajes de carga total de cada uno de los metales estudiados en las fracciones en que el huevo fue dividido. La mayoría de los metales en el huevo estuvieron principalmente incorporados en yema. En cascarón el cobre (35.2 %) y níquel (70.5 %) contribuyen con un alto porcentaje de la carga total del huevo. La yema es el tejido dentro del huevo que representa una mayor porción del peso del huevo (81%) y representa la fracción con la mayor carga de cinco de los siete metales analizados, lo que indica que es un importante componente para considerar la acumulación de metales pesados en tortuga marina (Godley *et al.*, 1999; Sakai *et al.*, 2000).

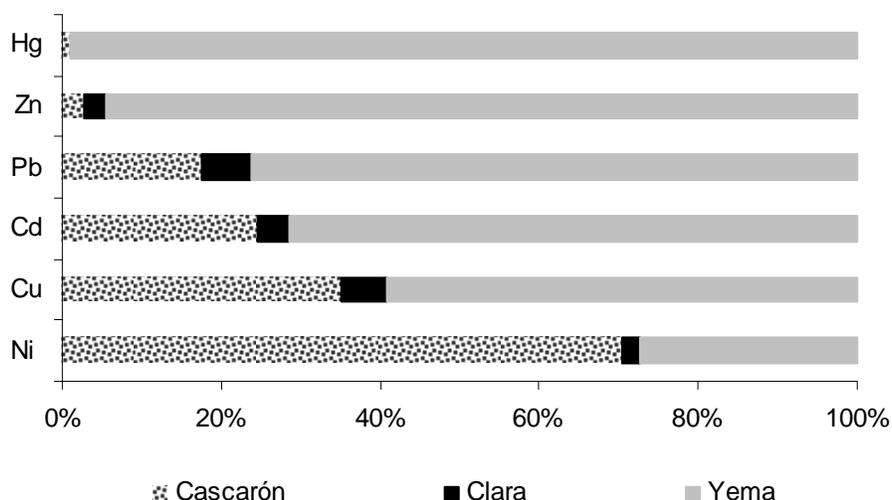


Figura 8. Carga porcentual de metales pesados presentes en huevo de tortuga Golfina.

La carga de metales pesados en huevo completo de *L. olivacea* se estableció teniendo en cuenta la concentración neta del metal y el porcentaje específico de cada una de las fracciones del huevo. Por tanto, los niveles encontrados de metales esenciales, Cu 3.01 ± 1.7 y Zn 61.9 ± 9.6 $\mu\text{g/g}$ y en metales no esenciales, Pb 0.85 ± 0.2 , Hg 0.03 ± 0.02 , Cd 0.27 ± 0.1 y Ni 19.5 ± 5.0 $\mu\text{g/g}$. Las diferencias encontradas pueden ser atribuidas a factores como vía de ingreso del metal, eficiencia de asimilación, tiempo de almacenamiento y capacidad de eliminación del elemento (Thompson, 1990; Wang, 2002).

En tortugas marinas, la excreción de metales vía huevo es documentada por diferentes autores (Stoneburner *et al.*, 1980; Sakai *et al.*, 1995; Sahoo *et al.*, 1996b; Godley *et al.*, 1999; Storelli y Marcotrigiano, 2003), siendo transferidos de la madre aquellos elementos esenciales para el desarrollo del embrión, sin ser la ruta de mayor eliminación de metales pesados en quelonios marinos.

Se determinó la correlación existente entre la concentración del metal con el peso y las dimensiones (ancho y curvo) del caparazón de la hembra en los diferentes tejidos analizados, atribuido a que algunos metales presentan una

dependencia con dichas variables que permite hacer una asociación para establecer criterios sobre los efectos adversos de los metales en su interacción con los organismos y/o el ambiente (Páez-Osuna, 2005).

La relación entre la concentración de metal con el peso de la hembra y respecto a las dimensiones (ancho y largo curvo) del caparazón de la hembra en los diferentes tejidos analizados no presenta correlación significativa alguna ($P > 0.05$). Sin embargo, cabe mencionar que cuando se relacionó el peso de la hembra con la concentración del metal, para zinc la hembra de mayor peso (42.7 Kg) registró el mínimo valor ($8.51 \mu\text{g Zn/g}$ peso seco) en cascarón y caso contrario con la de menor peso (24.7 Kg) el máximo valor en la albúmina ($11.70 \mu\text{g Zn/g}$ peso seco).

Al correlacionar dimensiones del caparazón con concentración del metal, se observó que cobre en albúmina presentó una ligera tendencia lineal con pendiente positiva y cadmio en sangre una tendencia lineal con pendiente negativa, siendo los únicos metales con este comportamiento. Asimismo; se pone de manifiesto un gradiente de concentración con un patrón en el siguiente orden descendente:

yema > sangre > clara > cascarón, para zinc;

cascarón > clara > sangre > yema para cobre;

clara > cascarón > sangre > yema para plomo;

sangre > cascarón > yema > clara para cadmio;

y cascarón > clara > yema > sangre para níquel. En cuanto a Hg no hay tal distribución, pero el nivel más elevado lo presentó yema y concentraciones por debajo del límite de detección en los tejidos restantes.

De forma general, durante el periodo de muestreo no se presentaron correlaciones significativas en el análisis de regresión entre las concentración de metales pesados en cascarón, clara, yema y sangre con relación a los parámetros morfométricos de las hembras anidadoras en playa Escobilla. Todas las variables incluidas (peso corporal, largo y ancho curvo del caparazón) para los metales

esenciales y no esenciales fueron estadísticamente no significativas ($P>0.05$). Este efecto se presume como resultado de bajos niveles de contaminantes tanto en el área de estudio así como en los corredores migratorios y sitios de alimentación de la población muestral, por tanto el fenómeno de concentración biológica de un metal pesado involucra factores biológicos, parámetros físico-químicos, ubicación geográfica y/o hábitos alimenticios (Gutiérrez-Galindo, 1982; Storelli y Marcotrigiano, 2003; Páez Osuna, 2005).

Algunos vertebrados marinos son depredadores con un alto nivel trófico dentro de la red alimenticia y por tanto tienen poca capacidad de detoxificación de metales pesados, atribuido a que acumulan contaminantes de sus presas, así que puede manifestarse una eventual biomagnificación; sin embargo, algunos metales como Hg y Zn están potencialmente influenciados por el número de interacciones tróficas (Furness y Rainbow, 1990; Wang, 2002; Baranowska *et al.*, 2005).

En cuanto a la relación entre el peso del huevo y la concentración de los elementos analizados en cada una de las fracciones del mismo, cabe mencionar que no se manifestó ningún patrón para Cu, Zn, Hg y Cd ($P>0.05$). Pero sin embargo, se observa una ligera tendencia lineal positiva del nivel de Pb en yema ($R^2 = 0.241$, $P>0.05$) y negativamente correlacionado del contenido de Ni en la clara de huevo ($R^2 = 0.165$, $P>0.05$) con respecto al peso del huevo. Comportamiento semejante presentó la relación entre la carga del metal en la sangre de la hembra anidadora con respecto a los niveles encontrados en huevo de la especie objeto de estudio, donde se destaca una tendencia lineal positiva con Hg en la fracción lipídica ($R^2 = 0.104$, $P>0.05$) y Ni tanto en clara como en cascarón ($R^2 = 0.132$, $P>0.05$) (Figura 9 y 10).

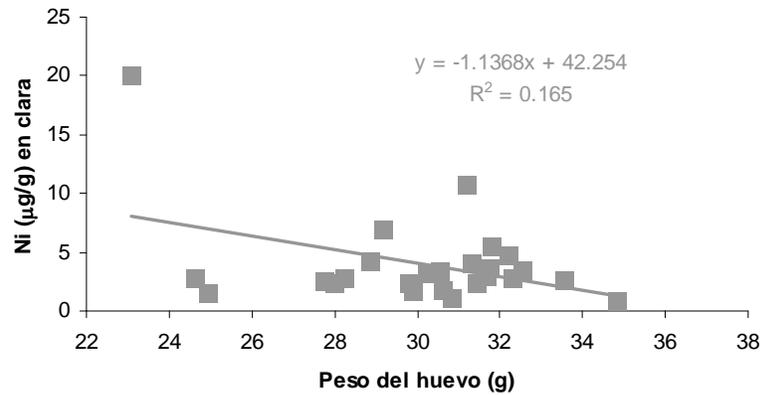
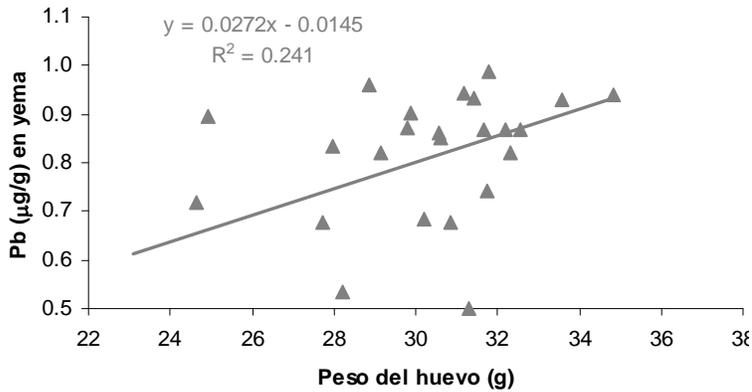


Figura 9. Relación entre el peso del huevo de *Lepidochelys olivacea* con respecto a los niveles de plomo y níquel (µg/g peso seco) durante la tercera arribada de la temporada 2005-2006.

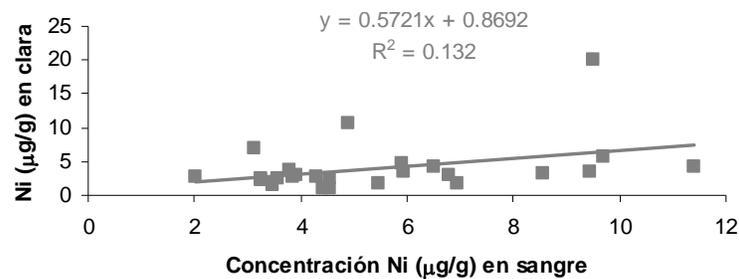
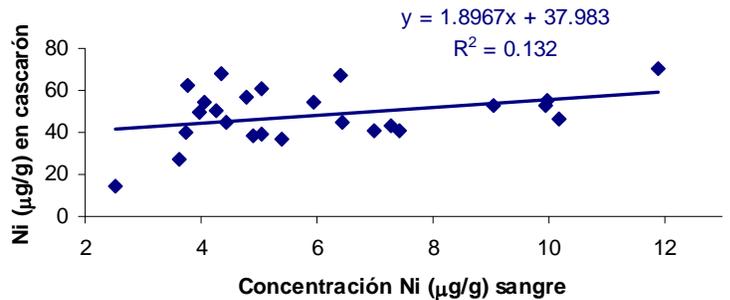
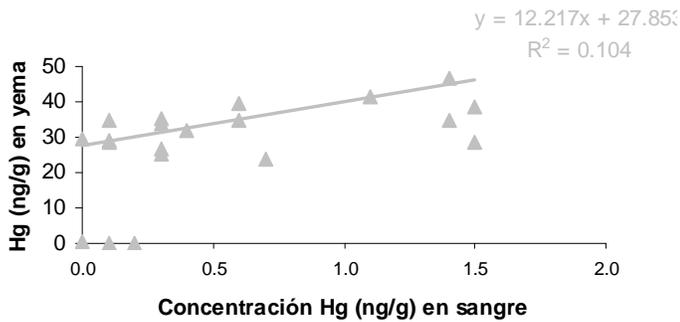


Figura 10. Relación entre la concentración de níquel (µg/g peso seco) y mercurio (ng/g peso seco) en sangre con respecto a los niveles en huevos analizados de *Lepidochelys olivacea* de la colonia anidadora de playa La Escobilla.

La presencia de mercurio en la yema del huevo de *L. olivacea* se explica, debido que el Hg atraviesa rápidamente la membrana celular atribuido a su alta afinidad por lípidos formando complejos estables que pueden ocasionar efectos tóxicos a nivel celular (Páez-Osuna, 2005). La toxicidad de Hg y MeHg en reptiles y anfibios es aún poco conocida, pero el huevo es una herramienta potencial para monitorear la ruta de excreción de este elemento y en términos generales un buen indicador de la carga del metal de la nidada (Wolfe *et al.*, 1998; Storelli y Marcotrigiano, 2003).

Siendo la sangre el medio fisiológico de desplazamiento e intercambio para todos los tejidos, el flujo de la misma a los diferentes órganos y tejidos varía ampliamente en el organismo (Guyton, 1977). De acuerdo a Wolfe *et al.* (1998), el mercurio es ingerido usualmente en forma de MeHg en niveles tróficos superiores y una vez dentro del organismo es rápidamente absorbido por el tracto gastrointestinal para distribuirse por el torrente sanguíneo y la concentración alcanzada depende de las velocidades relativas de los procesos de distribución y eliminación (Baggot, 1986).

Lo anterior se pone de manifiesto en el trabajo realizado por Day *et al.* (2005), donde proponen el uso de sangre para monitorear exposiciones de Hg total en tortuga marina, porque permite predecir la carga en tejidos internos como músculo y médula espinal y además consideran al tejido sanguíneo como un buen parámetro para pronosticar índices de exposiciones recientes en el organismo.

En las Figuras 11 y 12 se presentan las concentraciones de los elementos analizados y sus respectivos niveles máximos permisibles de acuerdo a la legislación nacional e internacional en las tres fracciones del huevo y sangre de *L. olivacea* encontradas. Tales niveles ponen de manifiesto las diferencias entre tejidos y su asociación con el tipo de alimentación de la especie, debido a que la carga de metales en el cuerpo de las tortugas marinas está reflejada por las diferencias interespecíficas en su dieta (Bjorndal, 1997; Ackman *et al.*, 1971; Day,

2003). La línea quebrada indica los límites máximos permisibles establecidos por Nauen (1983); de igual forma, las letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias con $P < 0.05$.

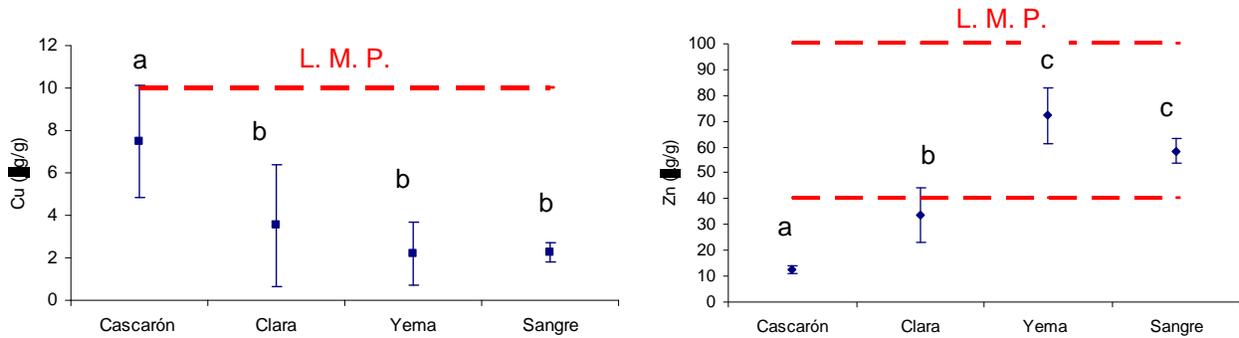


Figura 11. Niveles de cobre y zinc ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en sangre y huevos analizados de *Lepidochelys olivacea* durante la tercera arribada de la temporada 2005-2006. Las letras diferentes indican diferencias significativas con $P < 0.05$. L.M.P. valor establecido de Límite Máximo Permissible.

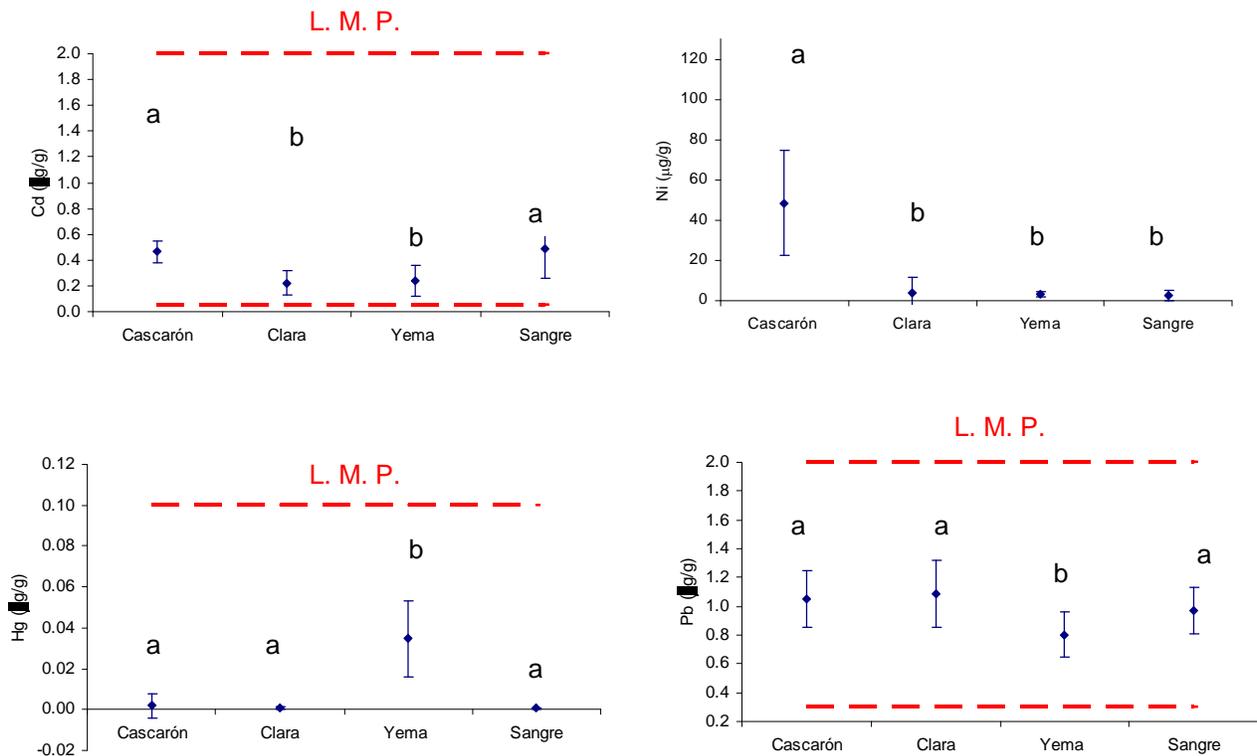


Figura 12. Niveles de cadmio, níquel, mercurio y plomo ($\mu\text{g/g}$ peso seco) en sangre y huevos analizados de *Lepidochelys olivacea* durante la tercera arribada de la temporada 2005-2006. Las letras diferentes indican diferencias significativas con $P < 0.05$. L.M.P. valor establecido de Límite Máximo Permissible.

Se realizó el análisis de varianza no paramétrico de una vía, para comparar las concentraciones promedio de plomo, mercurio, zinc, níquel, cobre y cadmio de los diferentes tejidos en las hembras muestreadas (Tabla 8). Asimismo, con objeto de encontrar las diferencias significativas entre yema, cascarón, clara y sangre de ser éstas presentes se aplicó la prueba de Dunn's basado en un criterio de significancia con un $P < 0.05$.

De acuerdo al criterio de Cochran (C) para determinar homocedasticidad y cumplir con el supuesto para llevar a cabo una ANOVA no paramétrica (Kruskal-Wallis), se obtuvieron los siguientes valores para cada uno de los elementos analizados: $C_{Pb}=0.9034$, $C_{Hg}=0.6398$, $C_{Cd}=0.5060$, $C_{Zn}=0.5120$, $C_{Cu}=0.7633$, $C_{As}=0.9642$, $C_{Ni}=0.5060$ en la población de tortugas muestreadas durante la temporada 2005-2006 en playa Escobilla. Lo anterior indica una homogeneidad de varianza en las concentraciones metálicas trabajadas de acuerdo con el valor crítico ($C < 0.9985$).

Al comparar las medias de las concentraciones en los cuatro tejidos analizados de las veinticinco tortugas muestreadas solamente cadmio ($K=62.83$, $P < 0.05$), cobre ($K=74.82$, $P < 0.05$) y níquel ($K=55.87$; $P < 0.05$), evidencian ser significativamente diferentes al comparar la concentración promedio de cascarón con respecto a las concentraciones de dichos metales en clara y yema. En el análisis de zinc hubo diferencias entre las concentraciones medias de las tres fracciones que conforman el huevo de tortuga golfina ($K=89.78$; $P < 0.05$). Respecto de los niveles de plomo ($K=64.79$, $P < 0.05$) y mercurio ($K=78.32$; $P < 0.05$), la concentración metálica de estos en cascarón fue diferente de la encontrada en yema y presentó un nivel promedio estadísticamente diferente entre la fracción clara y yema del huevo de *L. olivacea*.

Los niveles promedio de metales pesados aquí trabajados (Tabla 8), en su mayoría estuvieron por debajo de los encontrados en la totalidad de los tejidos de otras especies de tortugas marinas, aunque para la concentración de zinc en

yema los resultados fueron comparables. Por otra parte, los resultados obtenidos para mercurio y arsénico en otros quelonios marinos manifestaron un rango entre 1.5 a 1387 veces mayor a los obtenidos en el presente estudio. Se debe aclarar que los trabajos citados (Tabla 9, 10, 11) hacen mención a especies de quelonios que en algunos casos no comparten la misma cuenca oceánica (Pacífico, Atlántico e Índico), ni iguales condiciones metodológicas en el muestreo y estado de los ejemplares (organismos varados en playa y capturas incidentales en redes de pesca).

Las tortugas ofrecen un número de ventajas como indicador de la contaminación en los ecosistemas acuáticos y terrestres debido a que habitan en dichos ambientes, por su longevidad así como por sus rutas migratorias (Meyers-Schöne y Walton, 1994). En las Tablas 9, 10, 11 se presentan las concentraciones de los elementos y tejidos analizados, como una recopilación basada en los trabajos realizados en tortugas marinas incluyendo la especie estudiada. Debido a que la mayoría de los datos citados en la literatura internacional son registrados en base húmeda, éstos se convirtieron a peso seco bajo el supuesto de igual humedad según lo establecido en el presente estudio en las fracciones del huevo de tortuga golfina.

Tabla 9. Concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) de metales pesados encontrados en yema de huevo para diferentes especies de tortugas marinas.

Especie	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Ni	Área de Estudio	Referencia
<i>Chelonia mydas</i>	120 \pm 9.6	D.L.D.	0.13 \pm 0.02	0.004 \pm 0.0003	0.91 \pm 0.1	0.51 \pm 0.1	Hong Kong, China	Lam <i>et al.</i> (2006)
<i>Chelonia mydas</i>	125.9	0.08	0.08	0.007	1.7	0.08	Cabo Ashizuri e Isla Haha-Jima, Japón	Sakai <i>et al.</i> (2000)
<i>Caretta caretta</i>	91.7 \pm 8.5	0.07 \pm 0.02	0.08	32.3 \pm 9.10	4.19 \pm 0.02	0.08	Cabo Ashizuri e Isla Haha-Jima, Japón	Sakai <i>et al.</i> (2000)
<i>Caretta caretta</i>	91.7 \pm 8.5	0.07 \pm 0.02	-	0.03 \pm 0.01	4.19 \pm 0.2	-	Cabo Ashizuri e Isla Bonin, Japón	Sakai <i>et al.</i> (1995)
<i>Caretta caretta</i>	77.1 \pm 9.3	0.11 \pm 0.08	2.19 \pm 1.2	1.36 \pm 0.04	5.97 \pm 0.8	-	Florida,	Stoneburner <i>et al.</i> (1980)
	73.5 \pm 3.6	0.19 \pm 0.07	1.14 \pm 0.8	1.39 \pm 0.1	4.96 \pm 1.1	0.25 \pm 0.2	Georgia,	
	78.5 \pm 6.7	0.04 \pm 0.002	1.77 \pm 1.2	0.64 \pm 0.01	5.44 \pm 1.1	2.28 \pm 0.8	Carolina del	
	80.5 \pm 5.6	0.03 \pm 0.01	1.24 \pm 1.0	0.41 \pm 0.01	6.61 \pm 1.3	-	Norte, EEUU	
<i>Lepidochelys olivacea</i>	4.3 \pm 1.5	< 1	3.6 \pm 1.1	-	3.6 \pm 0.5	5.0 \pm 2.0	Gahirmatha, India	Sahoo <i>et al.</i> (1996b)
<i>Lepidochelys olivacea</i>	72.3 \pm 11	0.24 \pm 0.1	0.80 \pm 0.1	0.04 \pm 0.02	2.20 \pm 1.5	3.31 \pm 0.6	Oaxaca, México	Presente estudio

-, no analizado; D.L.D., por debajo del límite de detección

Tabla 10. Concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) de metales pesados encontrados en clara de huevo para diferentes especies de tortugas marinas.

Especie	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Ni	Área de Estudio	Referencia
<i>Chelonia mydas</i>	11.1 \pm 2.2	D.L.D.	0.17 \pm 0.04	0.003 \pm 0.001	2.33 \pm 0.4	0.63 \pm 0.2	Hong Kong, China	Lam <i>et al.</i> (2006)
<i>Chelonia mydas</i>	47.8	1.11	1.11	0.002	5.8	1.11	Cabo Ashizuri e Isla Haha-Jima, Japón	Sakai <i>et al.</i> (2000)
<i>Caretta caretta</i>	21.9 \pm 21.5	-	1.11	18.1 \pm 8.87	4.78 \pm 3.08	1.11	Cabo Ashizuri e Isla Haha-Jima, Japón	Sakai <i>et al.</i> (2000)
<i>Caretta caretta</i>	22.0 \pm 21.6	0.37	-	0.02 \pm 0.008	4.78 \pm 3.1	-	Cabo Ashizuri e Isla Bonin, Japón	Sakai <i>et al.</i> (1995)
<i>Dermochelys coriacea</i>	11.9 \pm 10.0	0.90 \pm 0.61	11.6 \pm 26.0	-	8.90 \pm 1.26	7.90 \pm 5.11	Michoacán, México	Vázquez <i>et al.</i> (1997)
<i>Lepidochelys olivacea</i>	4.3 \pm 1.5	< 1	3.6 \pm 1.1	-	3.6 \pm 0.5	5.0 \pm 2.0	Gahirmatha, India	Sahoo <i>et al.</i> (1996b)
<i>Lepidochelys olivacea</i>	33.6 \pm 11	0.22 \pm 0.1	1.08 \pm 0.2	<0.0015	3.53 \pm 2.9	4.05 \pm 3.9	Oaxaca, México	Presente estudio

-, no analizado; D.L.D., por debajo del límite de detección

Tabla 11. Concentraciones promedio ($\mu\text{g/g}$ peso seco) de metales pesados encontrados en cascarón de huevo para diferentes especies de tortugas marinas.

Especie	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Ni	Área de Estudio	Referencia
<i>Chelonia mydas</i>	2.92 \pm 0.6	0.04 \pm 0.03	0.27 \pm 0.1	0.001 \pm 0.0003	3.16 \pm 0.8	29.2 \pm 3.7	Hong Kong, China	Lam <i>et al.</i> (2006)
<i>Chelonia mydas</i>	1.35	0.07	0.07	0.003	11.5	0.07	Cabo Ashizuri e Isla Haha-Jima, Japón	Sakai <i>et al.</i> (2000)
<i>Caretta caretta</i>	5.28 \pm 1.4	0.02	0.07	9.85 \pm 3.19	13.6 \pm 1.87	0.07	Cabo Ashizuri e Isla Haha-Jima, Japón	Sakai <i>et al.</i> (2000)
<i>Caretta caretta</i>	5.28 \pm 1.4	0.02	-	0.01 \pm 0.003	13.6 \pm 1.9	-	Cabo Ashizuri e Isla Bonin, Japón	Sakai <i>et al.</i> (1995)
<i>Dermochelys coriacea</i>	11.9 \pm 10.0	0.90 \pm 0.61	11.6 \pm 26.0	-	8.90 \pm 1.26	7.90 \pm 5.11	Michoacán, México	Vázquez <i>et al.</i> (1997)
<i>Lepidochelys olivacea</i>	13.0 \pm 2.6	1.3 \pm 0.5	11.0 \pm 3.6	-	7.6 \pm 1.5	13.0 \pm 4.0	Gahirmatha, India	Sahoo <i>et al.</i> (1996b)
<i>Lepidochelys olivacea</i>	12.4 \pm 1.5	0.47 \pm 0.1	1.05 \pm 0.2	<0.0015	7.48 \pm 2.6	48.5 \pm 12.9	Oaxaca, México	Presente estudio
-, no analizado								

Basado en lo anterior, teniendo en cuenta los resultados de Sahoo *et al.* (1996b) para la especie objeto de estudio, las concentraciones de metales esenciales son semejantes a los encontrados en este estudio siendo zinc el que presentó concentraciones mayores (1.0 a 4.2 veces) en el huevo proveniente de playa La Escobilla. Por otra parte, en cuanto a metales no esenciales, éstos presentan diferencias notables en la concentración de cadmio y plomo cuando se comparan con la colonia que anida en la playa Gahirmatha (de arribada). Se confirma la observación que *L.olivacea*, tiende a ingerir un mayor número de organismos vectores que acarrean consigo proporciones considerables de contaminantes incluidos Pb y Cd, por su hábito alimenticio influenciado por el área de distribución en comparación a las otras especies de tortugas marinas.

Por ende la tortuga marina *Lepidochelys olivacea* procedente de playa La Escobilla, Oaxaca, lugar considerado como importante por albergar una de las tres principales colonias de arribada a nivel mundial para la especie, presenta niveles en huevo y sangre de metales pesados inferiores a los encontrados en otras especies de quelonios marinos. Esto se puede atribuir a su ambiente de distribución y comportamiento alimenticio por lo que la convierte en un buen monitor de la contaminación metálica e indicador de salud de la población reproductora.

La distribución de los siete elementos analizados que por efecto de cadena se ven reflejados tanto en hembra anidadora como en huevo fueron: zinc, níquel, cobre, plomo, cadmio, arsénico y mercurio; observándose igual orden de aparición y magnitud en la fracción lipídica del huevo. Por tanto, ya que los metales tienden a adherirse al tejido graso pueden ser determinantes para las variaciones de las concentraciones metálicas por los diferentes estadios de desarrollo embrionario (Gutiérrez-Galindo, 1982; Guitart *et al.* 1999).

La emisión de normas y límites máximos permisibles con respecto a elementos tóxicos tienen como finalidad reducir potencialmente el deterioro

ambiental y la incidencia sobre la salud pública. De acuerdo a la compilación de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) que establece límites legales para productos pesqueros en diversos países y la Norma Oficial Mexicana (NOM-027-SSA1-1993) en México, instauran un valor determinado para cada metal en partes por millón ($\mu\text{g/g}$) en base a peso húmedo. Al confrontar los niveles de dichas normas con las concentraciones promedio encontradas para *L.olivacea* en el presente estudio (Figura 11 y 12), estas últimas son algunas veces más bajas (3 a 47 veces menos) para Hg, Cd, y Pb poniendo de manifiesto el estado de salud de dicha población anidadora como aceptable y que corresponden a niveles básicos de una región prístina.

7.4. Isótopos del plomo

El plomo en la naturaleza tiene cuatro isótopos estables distribuidos en diferentes proporciones: ^{204}Pb (1.4%), ^{206}Pb (24.1%), ^{207}Pb (22.1%) y ^{208}Pb (52.4%). Los isótopos ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb son producto de la descomposición de elementos radioactivos, como el uranio y el torio. La proporción relativa de estos isótopos varía de acuerdo con las concentraciones originales de uranio (^{238}U y ^{235}U) y de torio (^{232}Th), quienes a su vez dependen del tipo de roca y de la zona geológica donde se localice el mineral. En contraste, el isótopo ^{204}Pb ha permanecido constante desde el origen de la tierra, ya que no es un producto de la descomposición de elementos radioactivos (Doe, 1970; Svanberg, *et al.* 2006).

En la Tabla 12 se enlista la composición isotópica del plomo en sedimentos datados a partir de diferentes ambientes sedimentarios, aerosoles y material continental que se han detectado en México y la marca isotópica encontrada en el presente estudio.

Tabla 12. Composición isotópica de diferentes ambientes sedimentarios representativos de México, tomado de Soto-Jiménez *et al.* (2006)

	$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb}$	n
Minerales de plomo mexicanos	1.201±0.006	2.475±0.005	21
Capas del sedimento del período 1930-1970	1.199±0.003	2.463±0.004	56
Sedimento reciente 1998-2003	1.197±0.004	2.461±0.004	5
Aerosoles urbanos actuales	1.194±0.004	2.459±0.007	4
Corteza continental superior	1.188±0.005	2.455±0.008	18
Capas más profundas del sedimento	1.189±0.006	2.460±0.014	10
Aerosoles rurales actuales	1.181±0.001	2.444±0.003	3
Marca isotópica de muestras de sangre de <i>Lepidochelys olivacea</i>	1.183±0.0006	2.452±0.0006	4

Los valores encontrados en sangre de *L. olivacea* ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb} = 1.183\pm 0.0006$; $^{206}\text{Pb}/^{208}\text{Pb} = 2.452\pm 0.0006$), al ser comparados con los presentados en la Tabla 12 difieren de los procedentes de las marcas isotópicas influenciadas por la acción antropogénica, pero presentan una similitud con las emanaciones naturales del plomo a pesar de tener un estrecho margen de desviación estándar. Asimismo, Chow y Patterson (1963), en muestras recolectadas de sedimentos superficiales en el Golfo de California, muestran valores de 1.217 ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$), 2.488 ($^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$), 0.063 ($^{204}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$) que no se asemejan a los encontrados en el presente estudio, evidenciándose una fuente natural del Pb en los ambientes que frecuenta esta población de tortugas marinas.

Por lo tanto, las concentraciones de metales pesados encontrados en la tortuga golfina, especie objeto de estudio, pueden ser atribuidos a hábitats libres de contaminación, efectos de cadena trófica, fuente natural del elemento, así como al metabolismo de la especie y/o capacidad de regulación fisiológica ya que no muestran los mismos niveles registrados por la literatura científica. Esto es comprobado mediante el uso de isótopos de Pb, pues es una poderosa herramienta en el estudio de las fuentes e impacto de la contaminación (Flegal *et al.*, 1993; Smith *et al.*, 1994; Soto-Jiménez *et al.*, 2006).

8. Conclusiones y recomendaciones

1. Las características biométricas para *Lepidochelys olivacea* proveniente de playa La Escobilla fueron en hembra anidadora 34.0 ± 4.4 Kg de peso, 66.4 ± 2.7 cm de largo curvo del caparazón, 70.7 ± 2.9 cm de ancho curvo del caparazón; en huevo 3.81 ± 0.05 cm de diámetro y 30.3 ± 0.34 g de peso.
2. El perfil de ácidos grasos que compone el plasma de tortuga golfina está representado por 36 ácidos grasos identificados como saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, con los porcentajes de 47.8 %, 36.7%, 15.6 % respectivamente.
3. De las tres fracciones del huevo y tejido sanguíneo analizados en *L.olivacea*, en forma general, donde se acumuló la mayor proporción de cobre y níquel fue en el cascarón. Para plomo el tejido más representativo fue la clara de huevo. En la fracción lipídica del huevo se encontraron principalmente zinc y mercurio. En el tejido sanguíneo predominaron cadmio y arsénico.
4. Las concentraciones promedio de metales pesados en $\mu\text{g/g}$ (con base a peso seco) en huevo completo de *Lepidochelys olivacea*, especie objeto de este estudio, fueron: cobre, 3.01 ± 1.7 ; plomo, 0.85 ± 0.2 ; zinc, 61.9 ± 9.6 ; mercurio, 0.03 ± 0.02 ; cadmio, 0.27 ± 0.1 y níquel, 9.75 ± 2.5 .
5. En el tejido sanguíneo de tortuga golfina proveniente de playa La Escobilla, los niveles promedio en $\mu\text{g/g}$ (con base a peso seco) fueron: Cu, 2.28 ± 0.4 ; Pb, 0.97 ± 0.2 ; Zn, 58.4 ± 4.7 ; Cd, 0.49 ± 0.2 ; Ni, 2.78 ± 1.25 ; en cambio, para Hg se registraron valores por debajo del límite de detección ($<0.0015 \mu\text{g/g}$).
6. La distribución de metales pesados, en los cuatro componentes analizados en *L. olivacea* presentaron el siguiente patrón en cascarón

Ni>Zn>Cu>Pb>Cd>Hg; mientras que en sangre, clara y yema fue Zn>Ni>Cu>Pb>Cd>Hg.

7. No existe relación lineal significativa ($P>0.05$) de los niveles de los elementos analizados en huevo y sangre de tortuga golfina con el peso del ejemplar, peso del huevo, concentración metálica, largo curvo del caparazón y ancho curvo del caparazón de las hembras anidadoras estudiadas de playa Escobilla, Oaxaca.
8. En el presente estudio se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$) entre las concentraciones medias de cascarón en Cd, Cu, Zn y Ni, elementos analizados en las fracciones del huevo, comportamiento contrario a lo observado en sangre de tortuga golfina.
9. Teniendo en cuenta la normatividad nacional e internacional sobre los límites máximos permisibles, las concentraciones encontradas de los metales estudiados en *L. olivacea* fueron inferiores a los allí presentados, a excepción del nivel establecido por Chile y Países Bajos para cadmio, Canadá para plomo, y Australia para zinc.
10. La marca isotópica del plomo en muestras de sangre de *L. olivacea* proviene de una fuente natural del elemento, relacionada con procesos de intemperismo de la roca madre o estratos sedimentarios suspendidos en aguas de la cuenca oceánica que utiliza la especie como corredor migratorio entre sus hábitats de alimentación y anidación.
11. La extracción de sangre y huevo en tortuga marina son técnicas no invasivas deseables para fauna silvestre amenazada o bajo estatutos de protección, debido a que son eficientes para determinar la concentración de metales pesados estableciendo así la condición de salud del organismo.

12. Por la importancia de las tortugas marinas no sólo a nivel local sino para el propio país, se recomienda que se continúen proyectos que permitan esclarecer la incertidumbre sobre el estado de salud de las poblaciones silvestres y la relación de ésta con los pobladores asentados en las costas y consumidores del recurso, así como con el ambiente por ser especies centinelas.

13. De igual forma, se recomienda investigar más sobre la evaluación de un posible aprovechamiento mediante la extracción sostenible del huevo de tortuga golfina proveniente de arribada, por el alto desperdicio y bajo nivel de eclosión de los mismos, a fin de generar desarrollo e ingresos en la región del Pacífico Sur Mexicano.

9. Literatura citada

- Ackman, R. G., Hooper, S. N. y Frair, W (1971). Comparison of the fatty acid compositions of depot fats from fresh-water and marine turtles. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 40: 931-344
- Ackman, R. G., Takeuchi, T. y Balazs, G. H (1992). Fatty acid in depot fats of green turtles *Chelonia mydas* from the Hawaiian islands and Johnston atoll. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 102: 813-819
- Aguirre, A. A., Gardner, S.C., Marsh, J.C., Delgado, S.G., Limpus, C.J., and Nichols, W.J.. 2006. Hazards associated with the consumption of sea turtle meat and eggs: A review for health care and the general public. *EcoHealth*, 3: 141-153.
- Amiard, J. C., Amiard-Triquet, C., Berthet, B., Metayer, C. (1987). Comparative study of patterns 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.
- Anderson, H. A., Wolff, M. S. (2005). Introductory commentary: Special fish contaminants issue. *Environmental Research*, 97: 125-126.
- Baggot, J. D. (1986). *Principios de farmacología clínica veterinaria*. Primera Edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 236 pp.
- Baranowska, I., Barchanska, H., Pyrsz, A. (2005). Distribution of pesticides and heavy metals in trophic chain. *Chemosphere*, 60: 1590–1599.
- Briseño-Dueñas, R. (2002). Las tortugas marinas de Sinaloa. En: Atlas de la Biodiversidad de Sinaloa, pp. 353-365.
- Bjorndal, K. A. (1997). Foraging ecology and nutrition of sea turtles. En: P. L. Lutz y J. A. Musick (Eds). *The biology of sea turtles*. CRC Press, United States of America. pp. 199-231.
- Bolten, A. B. (2000). Técnicas para la medición de tortugas marinas. En: K. L. Eckert, K. A. Bjorndal, F. A. Abreu-Grobois, M. Donnelly (Eds). *Técnicas de investigación y manejo para la conservación de las tortugas marinas*. UICN/CSE Grupo Especialista en Tortugas Marinas Publicación No. 4, (Traducción al español) pp. 126-131.

- Calderón-Rodríguez, A. (2005). Metales pesados en aves (patos y cercetas) residentes y migratorias recolectadas en sistemas lagunares del centro y sur de Sinaloa. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 167 pp.
- Casas-Andreu, G. (1978). Análisis de la anidación de las tortugas marinas del género *Lepidochelys* en México. Anales Centro Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México 5: 141-157.
- Castro-González, M. I., D. Auriolos-Gamboa, S. Montaña-Benavides, F. Pérez-Gil Romo y López-Orea, N (2001). Lípidos totales, colesterol y triglicéridos plasmáticos en crías de lobo marino de California (*Zalophus californianus*) del Golfo de California. Ciencias Marinas, 27(3): 375-396
- Castro-González, M. I (2002). Ácidos grasos Omega 3: Beneficios y Fuentes. Interciencia, 27: 128-136
- Castro-González, M. I., D. Auriolos-Gamboa y Pérez-Gil Romo, F (2003). Ácidos grasos en plasma de crías de lobo marino de California (*Zalophus c. californianus*) de Los Islotes, Baja California Sur, México. Ciencias Marinas, 29(1): 9-20
- 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.
- CEM Corporation (1994). Microwave digestion: Applications manual. United States of America.
- Chow, T. J., Snyder, C. B., Earl, J. L. (1975). Isotopic compositions of lead as pollutant source indicators. En: Proceedings, United Nations FAO International Atomic Energy Association Symposium, Viena, Austria. Vol. IAEA-SM-191/4: 95-108.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, CONABIO (2005). "Mapa base del estado de Oaxaca". Escala de impresión 1: 1 700 000. México.

- Day, R (2003). Mercury in loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*: Developing monitoring strategies, investigating factors affecting contamination, and assessing health impacts. Tesis de Maestría. College of Charleston, South Carolina, U.S.A., 145 pp.
- Day, R. D., Christopher, S. J., Becker, P. R., Whitaker, D., W. (2005). Monitoring mercury in the loggerhead sea turtle, *Caretta caretta*. Environmental Science and Technology, 39: 437-446.
- Doe, B. R. (1970). Lead isotopes. Springer-Verlag: New York.
- Dórea, J. G., Barbosa, A. C. (2004). Fruits, fish, and mercury: further considerations. Environmental Research, 96: 102-108.
- Flegal, A. R., Garrison, D. L., Niemeier, S. (1993). Lead isotopic disequilibria between plankton assemblages and surface waters reflect life cycle strategies of coastal populations within a Northeast Pacific upwelling regime. Limnology and Oceanography, 38(3): 670-678.
- Förstner, U. y Wittman, G. T. W. (1979). Metal pollution in the aquatic environment. Sprigerverlag, New York, U.S.A. 31-57.
- Frazier, J. (1999). Generalidades de la Historia de vida de las tortugas marinas. En: K. L. Eckert, y F. A. Abreu-Grobois (eds). Conservación de Tortugas Marinas en la Región del Gran Caribe - Un Diálogo para el Manejo Regional Efectivo. pp. 3-18.
- Frías-Espericueta, M. G., Osuna-López, J. I., Ruiz-Tellez, A., Quintero-Alvarez, J. M., López-López, G., Izaguirre-Fierro, G., Voltolina, D. (2006). Heavy metals in the tissues of the sea turtle *Lepidochelys olivacea* from a nesting site of the northwest coast of México. Bulletin Environmental Contamination and Toxicology, 77: 179-185.
- Fujise, Y., Honda, K., Tatsukawa, R., Mishima, S. (1988). Tissue distribution of heavy metals in dall's porpoise in the northwestern Pacific. Marine Pollution Bulletin, 19(5): 226-230.
- Furness, R. W., Rainbow, P. S. (1990). Heavy metals in the marine environment. CRC Press, Inc. Boca Ratón, Florida, United States of America. 586 pp.

- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climático de Koeppen. Instituto de Geografía, U.N.A.M., México, D.F.
- Godley, B. J., Thompson, D. R., 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.
- Gordon, A. N., Pople, A. R., Ng, J. (1998). Trace metal concentrations in livers and kidneys of sea turtles from south-eastern Queensland, Australia. *Marine Freshwater Research*, 49(5): 409-414.
- Guerrero, L., Levet, C., Román, T., Hernández, G. (1992). Evaluación de la población anidadora en la playa La Escobilla, Oaxaca y su relación con la producción de crías. Reporte Técnico. 56 pp.
- Guitart, R., Martínez-Silvestre, A., Guerrero, X., Mateo, R. (1999). Comparative study on the fatty acid composition of two marine vertebrates: striped dolphins and loggerhead turtles. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 124: 439-443.
- Gutiérrez-Galindo, E. A. (1982). Comentario sobre el metabolismo de metales pesados en organismos marinos. *Ciencias Marinas*, 8(1): 134-38.
- Guyton, A. C. (1977). Tratado de fisiología médica. Quinta edición. Nueva Editorial Interamericana, México. 1159 pp.
- Honda, K., Tatsukawa, R., Fujiyama, T. (1982). Distribution characteristics of heavy metals in the organs and tissues of striped dolphin, *Stenella coeruleoalba*. *Agricultural and Biological Chemistry*, 46(12): 3011-3021.
- Huang, L., Cox, C., Myers, G. J., Davidson, P. W., Cernichiari, E., Shamlaye, C. F., Sloane-Reeves, J., Clarkson, T. W. (2005). Exploring nonlinear association between prenatal methylmercury exposure from fish consumption and child development: evaluation of the Seychells child development study nine-year data using semiparametric additive models. *Environmental Research*, 97: 100-108.
- Internacional Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC. (1995). Nomenclature in Evaluation of Analytical Methods including Detection and Quantification Capabilities, *Pure & Applied Chemistry*, 67: 1699-1723.

- Itano, K., Kawai, S., Miyazaki, N., Tatsukawa, R. y Fujiyama, T. (1984). Body burdens and distribution of mercury and selenium in striped dolphins. *Agricultural and Biological Chemistry*, 48(5): 1117-1121.
- Johnsson, C., Asisten, G., Schütz, A., Sjörs, A., Barregard, L. (2004). Hair mercury levels versus freshwater fish consumption in household members of Swedish angling societies. *Environmental Research*, 96: 257-263.
- Joseph, J.D., Ackman, R.G., Seaborn, G.T. (1985). Effect of diet on deposit fatty acid composition in the green turtle *Chelonia mydas*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 80(1): 15-22.
- Knobeloch, L., Anderson, H. A., Imm, P., Peters, D., Smith, A. (2005). Fish consumption, advisory awareness, and hair mercury levels among women of childbearing age. *Environmental Research*, 97: 220-227.
- Krishnaja, A. P., Rege, M. S., Joshi, A. G. (1987). Toxic effects of certain heavy metals (Hg, Cd, Pb, As y Se) on the intertidal crab *Scylla serrata*. *Marine Environmental Research*, 21: 109-119.
- Lam, J. C. W., Tanabe, S., Chan, S. K. F., Lam, M. H. W., Martin, M., 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(3): 790-801.
- LeBlanc, P. J., Jackson, A. L. (1973). Arsenic in marine fish and invertebrates. En: Furness, R. W. and Rainbow, P. S. (Eds). *Heavy metals in the marine environment*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, United States of America. 256 pp.
- Libes, S. M. (1992). *An introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 734 pp.
- Lutz, P., Musick J. A. (1997). *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press (marine science series). Florida, United States of America. 432 pp.
- Maffucci, F., Caurant, F., Bustamante, P., 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.

- Mance, G. (1987). Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. Elsevier applied science publishers LTD, England. 372 pp.
- Margalef López, R. (1974). Ecología. Ediciones Omega, España. 952 pp.
- Márquez, R. (1996). Las tortugas marinas y nuestro tiempo. Fondo de Cultura Económica, México, D. F. 197 pp.
- Márquez, R., Villanueva, A., Peñaflores, C. (1976). Sinopsis de datos biológicos sobre la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz, 1829). Instituto Nacional de Pesca, México. 61 pp.
- Márquez, R., Villanueva, A., Peñaflores, C., Ríos D. (1989). Situación actual y recomendaciones para el manejo de las tortugas marinas de la costa occidental mexicana, en especial la tortuga golfina *Lepidochelys olivacea*. En: Tortugas Golfina, Laúd, Prieta, Lora, Blanca, Cahuama y Carey. Compilación 1989. Secretaría de Pesca. 67 pp.
- Mendola, P., Robinson, L. K., Buck, G. M., Druschel, C. M., Fitzgerald, E. F., Server, L. E., Vena, J. E. (2005). Birth defects risk associated with maternal sport fish consumption: potencial effect modification by sex offspring. Environmental Research, 97: 134-141.
- Meyers-Schöne, L., Walton, B. T. (1994). Turtles as monitors of chemical contaminants in the environment. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 135: 93-153.
- Miller, J. C., Miller, J. N. (1988). Statistics for analytical chemistry. Second Edition. Ellis Horwood Limited, Inglaterra. 227 pp.
- Miranda Baeza, A. (2004). La acuicultura y su entorno productivo, ambiental, socioeconómico y normativo. Monografía. CICESE, Departamento de Acuicultura. 140 pp.
- Moody, J. R., Lindstrom, R. N. (1977). Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element simples. Analytical Chemistry, 49: 2264-2267.
- Mora-Castro, R., Chaves-Quiros, A., Herrera-Ramírez C. (1997). Composición química del huevo de la tortuga lora (*Lepidochelys olivacea*) y evaluación de su calidad física y microbiológica durante su almacenamiento. Reviteca, 6: 10-19

- Motulsky, H. (2003). GraphPad Prism[®] 4. GraphPad Software, Inc. San Diego, California, United States of America.
- Mrosovsky, N. (2001). The future of Ridley Arribadas in Orissa: From Triple Waste to Triple Win?. Department of Zoology. University of Toronto.
- Muñoz Chávez, M., Ledesma Solano, J. A., Chávez, A., Mendoza, E., Calvo, C., Sánchez, C., Pérez-Gil, F., Castañeda, J., Castro, I., Avila, A (2002). Los alimentos y sus nutrientes: Tablas de valor nutritivo de alimentos. McGraw-Hill Interamericana, México. 154 pp.
- Nauen, C. E. (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Fisheries Circular No. 764, Roma. 100 pp.
- Páez-Osuna, F., Frías-Espericueta, M. G (2001). Bioacumulación, distribución y efectos de los metales pesados en los peneidos. En: F. Páez-Osuna (Ed). Camaronicultura y Medio Ambiente. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 244-270 pp.
- Páez-Osuna, F (1996). Efectos de los metales. En: A. V. Botello, J. L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomelí (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX Serie Científica No. 5. 666 pp.
- Páez-Osuna, F (1999). Contaminación por metales en las costas de México. Ciencia y Desarrollo, XXV (149): 68-73.
- Páez-Osuna, F (2005). Efecto de los metales. En: A. V. Botello, J. Rendón von Osten, G. Gold-Bouchot, C. Agraz-Hernández (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. 2da Edición. Centro EPOMEX. 695 pp.
- Peñaflores-Salazar, C., Vasconcelos-Pérez, J., Albavera-Padilla, E., Márquez-Millán, R. (1998). Twenty five years nesting of olive ridley sea turtle *Lepidochelys olivacea* in Escobilla Beach, Oaxaca, México. En: Proceeding of the Eighteenth International Symposium. NOAA Tech. Memo. NMFS-SEFSC-436. 293 pp.

- Ramírez, A. V. (2006). Biomarcadores en monitoreo de exposición a metales pesados en metalurgia. En: Anales de la Facultad de Medicina, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. 67(1): 49-58.
- Rehkämper, M., Halliday, A. N. (1999). The precise measurement of T1 isotopic compositions by MC-ICPMS: Application to the analysis of geological materials and meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63(3): 935-944.
- Rice, R (1998). Fish Nutritional Value. En: Castro-González, M. I. Ácidos grasos Omega 3: Beneficios y Fuentes. *Interciencia*, 27: 128-136.
- Rothery, E. (1998). Analytical methods for graphite tube atomizers. Varian Australia Pty Ltd Mulgrave, Victoria, Australia. 193 pp.
- Ruelas-Inzunza, J. R. (2001). Concentración y distribución de metales pesados en tejidos de organismos representativos del bajo golfo de California y áreas adyacentes: fauna y flora. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. 131 pp.
- Ruelas-Inzunza, J., Hovart, M., Pérez-Cortés, H., Páez-Osuna, F. (2003). Distribución de metilmercurio y mercurio en tejido de ballenas grises (*Eschrichtius robustus*) y delfines tornillo (*Stenella longirostris*) varados en el bajo Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 29(1): 1-8.
- Sahoo, G., Mohapatra, B. K., Mohanty-Hejmadi, P. (1996a). Ultrastructure and characteristics of eggshells of the olive ridley turtle (*Lepidochelys olivacea*) from Gahirmatha, India. *Acta Anatomica* 156(4):261-267.
- Sahoo, G., Sahoo, R. K., Mohanty-Hejmadi, P. (1996b). Distribution of heavy metals in the eggs and hatchlings of olive ridley sea turtle, *Lepidochelys olivacea*, from Gahirmatha, Orissa. *Indian Journal of Marine Sciences*, 25: 371-372.
- Sakai, H., Ichihashi, H., Suganuma, H., 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., Tanabes, S., Tatsukawa, R. (2000). Species-specific distribution of heavy metals in tissues and organs

- of loggerhead turtle (*Caretta caretta*) and green turtle (*Chelonia mydas*) from Japanese coastal waters.
- Segovia-Zavala, J. A., Delgadillo-Hinojosa, F., Álvarez-Borrego, S. (1998). Cadmium in the coastal upwelling area adjacent to the California-Mexico border. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 46: 475-481.
- Segovia-Zavala, J. A., Delgadillo-Hinojosa, F., Muñoz-Barbosa, A., Gutiérrez-Galindo, E. A., Vidal-Talamantes, R. (2004). Cadmium and silver in *Mytilus californianus* transplanted to an anthropogenic influenced and coastal upwelling areas in the Mexican Northeastern Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 48: 458-464.
- Smith, D. R., Markowitz, M. E., Crick, J., Rosen, J. F., Flegal, A. R. (1994). The effects of succimer on the absorption of lead in adults determined by using the stable isotope ^{204}Pb . *Environmental Research*, 67: 39-53.
- Soto-Jiménez, M. F., Hibdon, S. A., Rankin, C. H., Aggarawl, J., Ruiz-Fernández, A. C., Páez-Osuna, F., Flegal, A. R. (2006). Chronicling a century of lead pollution in México: stable lead isotopic composition analyses of dated sediment cores. *Environmental Science & Technology*, 40(3): 764-770.
- Stern, A. H. (2005). A review of the studies of the cardiovascular health effects of methylmercury with consideration of their suitability for risk assessment. *Environmental Research*, 98(1): 133-142.
- Stoneburner, D. L., Nicora, M. N., Blood, R. (1980). Heavy metals in loggerhead sea turtle eggs (*Caretta caretta*): Evidence to support the hypothesis that demes exist in the western Atlantic population
- Storelli, M. M., Marcotrigiano, G. O. (1998). Comparison of total mercury, methylmercury and selenium in muscle tissues and in the liver of *Stenella coeruleoalba* (Meyen) and *Caretta caretta* (Linnaeus). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61: 541-547.
- Storelli, M. M., Marcotrigiano, G. O. (2003). Heavy metal residues in tissues of marine turtles. *Marine Pollution Bulletin* 46: 397-400.
- Storelli, M. M., Storelli, A., D'Addabbo, R., Marano, C., Bruno, R., Marcotrigiano, G. O. (2005). Trace elements in loggerhead turtles (*Caretta caretta*) from the

- eastern Mediterranean Sea: overview and evaluation. *Environmental Pollution* 135: 163-170.
- Svanberg, F., Mateo, R., Hillström, L., Green, A. J., Taggart, M. A., Raab, A., Meharg, A. A. (2006). Lead isotopes and lead shot ingestion in the globally threatened marbled teal (*Marmaronetta angustirostris*) and white-headed duck (*Oxyura leucocephala*). *Science of the Total Environment* 370: 416–424.
- Thompson, D. R. (1990). Metal levels in marine vertebrates. En: Furness, R. W. and Rainbow, P. S. (Eds). *Heavy metals in the marine environment*. CRC Press, Inc. Boca Ratón, Florida, United States of America. 143-182.
- Uma Devi, V. (1987). Heavy metal toxicity to fiddler crabs, *Uca annulipes* Latreille and *Uca triangularis* (Milne Edwards): Tolerance to copper, mercury, cadmium, and zinc. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 39: 1020-1027.
- Underwood, A. J. (1997). *Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press, United Kingdom. 504 pp.
- Vázquez, G. F., Reyes, M. C., Fernández, G., Aguayo, J. E., Sharma, V. K. (1997). Contamination in Marine Turtle (*Dermochelys coriacea*) egg shells of Playón de Mexiquillo, Michoacán, México. *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 58: 326-333.
- Vupputuri, S., Longnecker, M. P., Daniels, J. L., Guo, X., Sandler, D. P. (2005). Blood mercury level and blood pressure among US women: results from the national health and nutrition examination survey 1999-2000. *Environmental Research*, 97: 195-200.
- Wang, W. X. (2002). Interactions of trace metals and different marine food chains. *Marine Ecology Progress Series*, 243: 295-309.
- Wolfe, M., Schwarzbach, S., Sulaiman, R. A. (1998). Effects of mercury on wildlife: A comprehensive review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(2): 146-160.

Zar, J. H. (1999). Biostatistical analysis. 4th Edition. Prentice Hall, New Jersey, United States of America. 663 pp.

10. Anexos

Composición de ácidos grasos (mg/100 g) presentes en plasma de *Lepidochelys olivacea* procedente de playa Escobilla durante la temporada 2005-2006.

Abreviatura	Plasma	Desviación Estándar	Abreviatura	Plasma	Desviación Estándar
4:0	4.56	2.76	18:2(n-6)t	0.46	0.57
6:0	0.25	0.17	18:2(n-6)c	7.09	4.09
8:0	0.05	0.03	18:3(n-6)	6.08	7.59
10:0	0.14	0.22	20:2(n-6)	0.80	0.54
11:0	0.10	0.16	20:3(n-6)	0.75	0.70
12:0	1.78	1.30	20:4(n-6)	12.09	8.58
13:0	0.59	0.54	PUFA n-6	27.27	6.52
14:0	39.15	15.40			
15:0	1.96	0.84	18:3(n-3)	1.22	0.81
16:0	44.85	17.56	20:3(n-3)	5.40	6.59
17:0	3.82	1.70	20:5(n-3)	2.43	1.76
18:0	17.29	6.42	22:6(n-3)	4.82	4.30
20:0	5.53	7.85	PUFA n-3	13.87	4.34
21:0	0.65	0.93			
22:0	5.33	6.00	Σ PUFA	41.14	5.96
23:0	0.13	0.13			
24:0	0.24	0.13	n-3/n-6	0.76	0.67
SATURADOS	126.41	14.79			
15:1	1.40	2.07			
16:1(n-9)	19.94	9.43			
17:1	5.60	7.79			
18:1(n-9)t	5.70	6.54			
18:1(n-9)c	61.12	28.09			
22:1(n-9)c	1.96	3.43			
24:1(n-9)	1.23	0.76			
MONO INSATURADOS	96.94	23.42			