



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA  
UNIDAD ACADÉMICA MAZATLAN  
(BIOLOGÍA MARINA)

**CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN PLUMAS DEL  
PLAYERITO OCCIDENTAL *Calidris mauri* INVERNANDO EN EL  
NOROESTE DE MÉXICO**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:  
CLAUDIA IRAÍS LUJÁN GARCIA

TUTOR  
DR GUILLERMO JUAN FERNANDEZ ACEVES  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD ACADÉMICA  
MAZATLÁN, UNAM

COMITÉ TUTORAL  
DR. FEDERICO PAEZ OSUNA  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNIDAD ACADÉMICA  
MAZATLÁN, UNAM

DRA. MA. DEL CORO ARIZMENDI  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTCALA, UNAM  
DR. EDUARDO PALACIOS CASTRO  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA  
DR. JORGE RICARDO RUELAS IZUNZA  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

MÉXICO, D. F., NOVIEMBRE, 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Unidad Académica Mazatlán



**CONCENTRACION DE METALES PESADOS EN PLUMAS DEL  
PLAYERITO OCCIDENTAL *Calidris mauri* INVERNANDO EN EL  
NOROESTE DE MÉXICO**

**T E S I S**

Que para obtener el grado académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**  
(Biología Marina)

Presenta

**Biol. CLAUDIA IRAÍS LUJÁN GARCÍA**

**Director de tesis:** Dr. Guillermo Juan Fernández Aceves

**Comité tutorial:** Dr. Federico Páez Osuna  
Dra. Ma. Del Coro Arizmendi  
Dr. Eduardo Palacios Castro  
Dr. Jorge Ricardo Ruelas Izunza

Mazatlán, Sinaloa, 2014.

---

## **DECLARACIÓN DEL AUTOR.**

El presente trabajo de tesis es el resultado del autor bajo la dirección y supervisión del Dr. Guillermo J. Fernández Aceves.

El autor ha dado reconocimiento en el texto a las fuentes de información consultadas. Se permiten y agradecen citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción total o parcial de la tesis con fines académicos se da consentimiento al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la U.N.A.M.

---

Biol. Claudia Iraís Luján García

---

## **AGRADECIMIENTOS.**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca para realizar mis estudios de maestría

Este trabajo de tesis se realizó con el apoyo de CONACYT a través de los Proyectos Investigación Científica Básica CB2007-82671 y CB2010-155353, de los Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e innovación Tecnológica de la Universidad Nacional Autónoma de México (Proyecto PAPIIT IN212809-3), del Internacional Program del U.S. Forest Service a través de Copper River International Migratory Bird Initiative (CRIMBI) e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología - UNAM (Proyecto Institucional). Gracias a todos ellos.

Al Dr. Guillermo J. Fernández Aceves por la dirección de esta tesis y brindarme su apoyo incondicional y sus consejos durante la realización de este posgrado.

A los miembros de mi comité tutorar y jurado de examen Dr. Federico Páez Osuna, Dr. Eduardo Palacios Castro, Dra. María del Coro Arizmendi y Jorge Ricardo Ruelas Izunza por las observaciones y retroalimentación a cada paso de la elaboración de esta Tesis.

Al Quím. Humberto Bojórquez Leyva por su ayuda y paciencia en el trabajo de laboratorio.

Al Dr. Miguel Betancourt Lozano por su apoyo en el procesamiento de muestras en el CIAD.

---

Al Mat. Germán Ramírez Reséndiz y al L.S.C.A. Carlos Suárez Gutiérrez por su ayuda en el manejo de los programas de computación.

Al Dr. Felipe Amezcua por su apoyo, paciencia y asesoría en los análisis estadísticos.

Al mis compañeros del laboratorio de ecología de aves de la UNAM: Edgar Cruz, Alfredo Castillo, Erick González, Alfredo Leal, Hugo Manuel Espinoza, Carolina Espinosa y Francisco Santiago, por colaborar en la colecta de las muestras, además de sus consejos y ayuda sobre los análisis.

A Clara Ramírez por la bibliografía que sin su ayuda sería muy difícil obtener.

A Margarita Cordero por siempre estar atenta a mis asuntos académicos.

A mis amigos el Dr. Aarón Emmanuel González E., Biol. Manuel E. Ávila Blanco, Biol. Andrés O. López Pérez y Quim. Miguel Cuevas Cruz por su apoyo, asesoría y consejo cuando más lo necesitaba.

A mi gran familia, por apoyarme en cada paso que doy en la vida. Orientarme aconsejarme e impulsarme a ser mejor cada vez.

---

## DEDICATORIA

A mis padres Pedro Armando Lujan Estrada y Claudia Gabriela García Gómez por estar siempre para mi incondicionalmente.

A mis primos y mis hermanos Paulina, Erick, Omar y Miguel por ser la parte divertida de mi vida y siempre sacarme una sonrisa

A mis tios Marisela, Magaly, Beatriz, Alma Luisa y Carlos por ser unos segundos padres para mí en todo momento.

A mis abuelos Miguel, Concepción y Juvenal, y en especial a mi abuelita Beatriz Gómez que es el gran pilar en la familia, una mujer fuerte en todo momento y un verdadero ejemplo a seguir.

A mis amigos Andrés López, Manuel Ávila, Aarón González, Oscar Martínez, Miguel Cuevas, Christian Hernández, Anamariana Sánchez, Deborah Rodríguez y Martha Frías que aun que están lejos siempre se hacen sentir presentes.

A la vida por permitirme experimentar tantas cosas hermosas en el trascurso de la misma, entre ellas mis estudios de maestría.

A todos ustedes por ser una hermosa parte de mi vida.

---

# Contenido.

<b>1. I NTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
I.1. Los humedales y su problemática.....	1
I.2. Biomonitores.....	4
I.3. La clase aves.....	5
I.4. Las aves como biomonitores.....	6
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>8</b>
2.1. Monitoreo de metales pesados en plumas.....	8
2.2.1. Diferentes tipos de plumas como herramientas de biomonitoreo.....	9
2.2. Metales pesados.....	10
2.2.1. Cadmio (Cd).....	10
2.2.1.1. Toxicidad y concentración (Cd).....	10
2.2.1.2. Acumulación de Cd en plumas.....	12
2.2.2. Plomo (Pb).....	13
2.2.2.1. Toxicidad y concentración (Pb).....	13
2.2.2.2. Acumulación de Pb en plumas.....	15
2.2.3. Zinc (Zn).....	16
2.2.3.1. Toxicidad y concentración (Zn).....	16
2.2.3.2. Acumulación de Zn en plumas.....	17
2.3. Biología de <i>Calidris mauri</i> .....	18
2.3.1. Migración.....	19
2.3.2. Muda.....	20
2.3.3. Alimentación.....	22
<b>3. JUSTIFICACION ACADEMICA.....</b>	<b>23</b>
<b>4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>25</b>

---

<b>5.- OBJETIVOS.....</b>	<b>26</b>
5.1. Objetivo general.....	26
5.2. Objetivos específicos.....	26
<b>6.- HIPOTESIS.....</b>	<b>27</b>
<b>7.- ÁREA DE ESTUDIO. ....</b>	<b>28</b>
7.1. Alto golfo, Delta del rio colorado, Baja California/Sonora.....	29
7.2. Complejo Lagunar Ojo de Liebre en Guerrero Negro, Baja California.....	29
7.3. Bahía Santa María, Sinaloa.....	30
7.4. Ensenada Pabellones, Sinaloa.....	30
7.5. La Ensenada de La Paz, Baja California Sur.....	30
7.6. Huizache-Caimanero, Sinaloa.....	31
<b>8. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
8.1. Trabajo de Campo.....	32
8.2. Análisis de Laboratorio.....	33
8.2.1. Limpieza y preparación del material de laboratorio.....	33
8.2.2. Preparación de las muestras.....	34
8.2.3. Análisis de muestras.....	37
8.3. Análisis del método analítico.....	38
8.4. Análisis estadísticos.....	40
<b>9. RESULTADOS.....</b>	<b>42</b>
9.1. Cadmio (Cd).....	42
9.1.1. Evaluación Regional.....	42
9.1.2. Evaluación de Sinaloa.....	43
9.2. Plomo (Pb).....	45
9.2.1. Evaluación Regional.....	45

---

9.2.2. Evaluación de Sinaloa.....	48
9.3. Zinc (Zn).....	50
9.3.1. Evaluación Regional.....	50
9.3.2. Evaluación de Sinaloa.....	50
<b>10. DISCUSIONES.....</b>	<b>54</b>
10.1. Variación en la concentración de metales pesados entre diferentes tipos de plumas de <i>Calidris mauri</i> .....	54
10.2. Efecto de las clases de edad en las concentraciones de metales pesados en plumas de <i>Calidris mauri</i> .....	57
10.3. Efecto del sexo en la concentración de metales pesados en plumas de <i>Calidris mauri</i> .....	59
10.4. Variaciones espaciales en la concentración de metales pesados en plumas de <i>Calidris mauri</i> .....	61
10.5. Variaciones temporales en la concentración de metales pesados en plumas de <i>Calidris mauri</i> .....	64
<b>11. CONCLUSIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>12. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>13. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>69</b>

## Índice de Tablas.

**Tabla 1.** Número de individuos de *Calidris mauri* capturados en seis sitios del Noroeste de México durante las temporadas invernales 2008-2009 a 2011-2012 por grupos de sexo y edad: Macho adulto (MA), macho subadulto (MJ), hembra adulta (HA) y hembra subadulto (HJ), para cada sitio de invierno: Alto Golfo (AG), Guerrero Negro (GN), Ensenada Pabellones (EP), Santa María (SM), La Paz (LP) y Huizache Caimanero (HC).....35

**Tabla 2:** Condiciones de Operación del equipo de digestión por microondas. El proceso de digestión en el microondas constó de tres etapas (las dos primeras de diez minutos y la última de treinta minutos) con sus respectivas presiones (libras\*pulgada<sup>-2</sup>) y su porcentaje de potencia.....36

**Tabla 3.** Concentración de Cd, Pb y Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en blancos para plumas primarias y de pecho de *Calidris mauri* invernando en el Noroeste de México durante las temporadas 2008-2009 a 2011-2012. Se muestra la concentración promedio  $\pm$  la desviación estándar.....38

**Tabla 4:** Concentración de Cd, Pb y Zn en el material de referencia (Dolt-4).....39

**Tabla 5.** Número de muestras compuestas de plumas primarias y de pecho de *Calidris mauri* capturados en cinco sitios del Noroeste de México durante las temporadas invernales 2008-2009 a 2011-2012. Se muestra el número de muestras compuestas de plumas primarias/plumas de pecho por grupos de sexo y edad: Macho adulto (MA), macho subadulto (MJ), hembra adulta (HA) y hembra subadulto (HJ), para cada sitio de invierno: Alto Golfo (AG), Guerrero Negro (GN), La Paz (LP), Santa María (SM), Ensenada Pabellones (EP) y Huizache Caimanero (HC). .....41

## Índice de Figuras.

**Figura 1.** Localización de los diferentes sitios de estudio.....28

**Figura 2 :** Concentración de Plomo (Pb, media ajustada  $\pm$  error estándar) en plumas primarias y de pecho de individuos adultos de *Calidris mauri* invernando en varios sitios del Noroeste de México durante las temporadas invernales 2008-2009 y 2009-2010. Sitios de invierno: Alto Golfo (AG), Guerrero Negro (GN), Ensenada Pabellones (EP), Santa María (SM), La Paz (LP) y Huizache Caimanero (HC). Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.....46

**Figura 3 :** Concentración de Plomo (Pb, media ajustada  $\pm$  error estándar) en plumas primarias y de pecho de individuos subadultos de *Calidris mauri* invernando en varios sitios del Noroeste de México durante las temporadas invernales 2008-2009 y 2009-2010. Sitios de invierno: Alto Golfo (AG), Guerrero Negro (GN), Ensenada Pabellones (EP), Santa María (SM), La Paz (LP) y Huizache Caimanero (HC). Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.....47

**Figura 4 :** Concentración de Plomo (Pb, media ajustada  $\pm$  error estándar) en plumas primarias y de pecho de individuos adultos de *Calidris mauri* invernando en la costa de Sinaloa, México, durante las temporadas invernales 2008-2009 a 2011-2012. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.....49

**Figura 5:** Concentración de Zinc (Zn, media ajustada  $\pm$  error estándar) en plumas primarias y de pecho de individuos subadultos de *Calidris mauri* invernando en la costa de Sinaloa, México, durante las temporadas invernales 2008-2009 a 2011-2012. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.....53

---

## RESUMEN.

En el presente estudio se realizaron lecturas de las concentraciones de Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) por espectrofotometría de absorción atómica en las plumas primarias y de pecho de *Calidris mauri* invernando en 6 sitios en el Noroeste de México de cuatro temporadas invernales (de 2008-2009 a 20011-2012). Se realizó un Análisis de Varianza para determinar el efecto del sitio, sexo, temporada y tipo de pluma, en las concentraciones de los metales pesados en las plumas. Se realizaron dos evaluaciones estadísticas: una tomando en cuenta todos los sitios de estudio y las dos primeras temporadas invernales (Regional) y otro tomando en cuenta únicamente los sitios de Santa María y Ensenada Pabellones (Sinaloa) y las cuatro temporadas invernales. No se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de los tres metales pesados entre sexos y edades. Se encontró que las plumas primarias tienen una mayor concentración de Cd y Pb que las plumas del pecho. También se detectaron que las plumas de individuos adultos invernando en El Alto Golfo y La Paz presentaron una mayor concentración de Pb que aquellos del Huizache-Caimanero. En cuanto a temporadas invernales se observó una menor concentración en las plumas de los individuos adultos y subadultos invernando en las temporadas invernales 2009-2010, 2010- 2011 y 2011-2012 que aquella de los individuos invernando en 2008-2009. Finalmente una diferencia en las concentraciones de metales pesados en los diferentes tipos de plumas sugiere tomar en cuenta el tipo de pluma a elegir para futuros estudios de monitoreo de metales pesados utilizando aves.

---

## **ABSTRACT.**

In the present study the concentrations of Cadmium (Cd), Lead (Pb) and Zinc (Zn) in primary and breast feathers of *Calidris mauri* from four wintering seasons (2008-2009 to 2011-2012) at six sites in northwestern Mexico were read by atomic absorption spectrophotometry. An Analysis of Variance was performed to determine the effect of site, sex, season, and type of feather in the concentrations of heavy metals in the feathers. Two statistical evaluations were performed: one taking into account all the study sites and the first two winter seasons (Regional) and another taking into account only the sites of Santa Maria and Ensenada and the four winter seasons (Sinaloa). No significant differences in the concentrations of three heavy metals between sexes and ages were found. It was found that the primary feathers have a higher concentration of Cd and Pb than the breast feathers. It was also found that the feathers of adult individuals wintering in Alto Golfo and La Paz have a higher concentration of Pb than those in Huizache-Caimanero. Regarding temporal variations, a lower concentration was observed in the feathers of adult and subadults individuals in the wintering seasons 2009-2010, 2010-2011 and 2011-2012 than those in wintering in 2008-2009. Finally a difference in the concentrations of heavy metals in different types of feathers suggests taking into account the type of feather to choose for future monitoring studies of heavy metals using birds.

---

# 1. INTRODUCCION.

## 1.1. Los humedales y su problemática.

Los humedales son ecosistemas de gran importancia por los procesos hidrológicos y ecológicos que en ellos ocurren. Estos sistemas sustentan una diversidad biológica importante, tienen una elevada productividad y en muchos casos constituyen hábitats críticos para especies seriamente amenazadas (Ruiz-Fernández et al. 2003a, Kim y Koo 2008). En el caso de los humedales costeros, estos también favorecen la mitigación de inundaciones y erosión costera, y son importantes para la agricultura, el comercio de recursos pesqueros y camaronicultura (Ruiz-Fernández et al. 2003a).

Los más importantes puertos y ciudades costeras en México han sido desarrolladas en o cerca de sistemas lagunares costeros (Páez-Osuna et al. 2002). En México los humedales tienen una importancia ecológica, social y económica, pero también están expuestos a una serie de presiones naturales y antropogénicas que pueden representar un riesgo para su funcionamiento y conservación (Ruiz-Fernández et al. 2003a, Ruiz-Fernández et al. 2003b). Por otro lado, en la región noroeste de México se localizan los principales sitios de invernada de varias especies de aves playeras migratorias del hemisferio norte (Engilis et al. 1998), incluyendo el Playerito Occidental (*Calidris mauri*) (Franks et al. 2012). En esta zona, los humedales se han perdido y alterado en los últimos

---

treinta años por actividades antropogénicas que han modificado su paisaje y su productividad natural (Engilis et al. 1998).

Actualmente se considera que no existe un ecosistema que pueda ser considerado exento de contaminantes por actividad humana. Sitios relativamente aislados presentan niveles significativos de contaminantes que son transportados por las masas de aire, las corrientes oceánicas y otros fenómenos atmosféricos (Hermoso et al. 2010). Dentro de estos contaminantes, los metales pesados o metales traza son uno de los problemas ambientales más serios que se tienen en el mundo (Monteiro et al. 1998, Cuizano y Navarro 2008, Zhang y Ma 2011, Lucia et al. 2012).

El término “metales pesados” es usado como sinónimo de elementos traza, incluye los metales traza esenciales (necesarios para las funciones metabólicas de los seres vivos) y no esenciales (que no cumplen funciones fisiológicas conocidas en los seres vivos). Sin embargo, todos estos metales son potencialmente tóxicos para los seres vivos si se encuentran disponibles en concentraciones por arriba del umbral tolerable, específico para cada grupo taxonómico (Rainbow 1995, Hermoso et al. 2010, Hoff-Brait y Antoniosi-Filho 2011).

Los metales pesados llegan a los humedales de manera natural como resultado de la lixiviación de la roca madre, influenciado por la litología del lugar (Burger 1996, Montes de Oca et al. 1996, Monteiro et al. 1998). También pueden llegar de fuentes antropogénicas como las descargas de aguas residuales urbanas e industriales (Burger 1996, Ruiz et al. 2003a, Cuizano y Navarro 2008). Otras

---

fuentes de metales pesados son los pesticidas, fertilizantes, aceites combustibles, emisiones vehiculares, la minería, la fundición, la refinería y la incineración de residuos industriales y urbanos (Hoff-Brait y Antoniosi-Filho 2011). Como consecuencia, los ambientes acuáticos pueden presentar concentraciones de metales pesados excedentes a los criterios de calidad de agua permitidos por las autoridades de gobierno (Cuizano y Navarro 2008).

Se ha observado que los niveles de metales pesados en los sedimentos de sistemas costeros son generalmente elevados de manera natural y por acciones antropogénicas (Stock et al. 1989, McFarland et al. 2002, Kim y Koo 2008). Además los sedimentos son un vínculo entre los metales y los organismos bentónicos. Los metales forman complejos con la materia orgánica presente en los sedimentos, lo que provoca que tiendan a fijarse más fácilmente en los tejidos de organismos expuestos (Ming 2005). Por lo anterior, los niveles de metales pesados en los humedales costeros se han convertido en una problemática ambiental para los organismos que en ellos residen.

Considerando lo anterior, es importante estudiar la salud y niveles de contaminación de los humedales costeros, lo cual requiere de la selección de especies indicadoras para el monitoreo de metales pesados biodisponibles en el medio ambiente.

---

## 1.2. Biomonitorio.

El término “biomonitorio de metales” es empleado para denotar especies que acumulan metales pesados en sus tejidos y pueden ser utilizados para analizar la biodisponibilidad de estos metales en el ambiente (Rainbow 1995, Páez-Osuna et al. 2002, Hermoso et al. 2010). El análisis de los contaminantes ambientales en los organismos ha mostrado resultados más prometedores que aquellos en entornos abióticos, pues muestran la biodisponibilidad de los contaminantes (Hoff-Brait y Antoniosi-Filho 2011), así como su variación geográfica y temporal (Páez-Osuna et al. 2002).

Esta acumulación ofrece una medida integrada en el tiempo de suministro del metal durante semanas, meses o incluso años, dependiendo de la especie utilizada como biomonitorio y tomando en cuenta su ciclo de vida y fisiología (Rainbow 1995, Hermoso et al. 2010).

Idealmente un biomonitorio debe ser: sedentario, fácil de identificar y grande para proveer suficiente tejido a analizar, así como tener conocimiento de su biología, incluyendo tipo de alimentación, características de su ciclo de vida y patrones de acumulación de los metales (Rainbow, 1995).

A pesar de lo anterior, es difícil encontrar una especie que cumpla con todos los criterios (Rainbow 1995). Así pues, el biomonitorio seleccionado puede tener ciertas desventajas como la ausencia de los organismos en alguna etapa del muestreo, variaciones fisiológicas debido al sexo y edad, además de un posible impacto en

---

sus poblaciones y la dificultad de identificación de algunas especies (Páez-Osuna et al. 2002).

### **1.3. La Clase Aves.**

La clase “Aves” es un grupo diverso que tiene representantes en todos los ambientes terrestres y acuáticos (Cruz-Acevedo 2012). Dentro de este grupo, las aves playeras forman parte de los Charadriiformes, las cuales comparten ciertas características morfológicas y de comportamiento (Howell 2010).

La mayoría de las especies de la familia Scolopacidae se reproducen en el hemisferio norte (Howell, 2010). Las especies que se encuentran en la región Neártica son migratorias (Galindo-Espinosa 2003, Howell 2010, Cruz-Acevedo 2012), requiriendo el acceso a sitios de descanso, invernación y reproducción para completar su ciclo anual (Strum et al. 2010). Durante la época de invernada, estas aves playeras utilizan una gran variedad de hábitats, que van desde pastizales y ambientes lodosos hasta cuerpos de aguas someros (Cruz-Acevedo 2012). Además, las aves playeras son fundamentales para los ecosistemas costeros por su papel en los flujos de energía y cadenas tróficas estuarinas (Strum et al. 2010).

Por otro lado, las aves playeras son particularmente vulnerables a contaminación por metales pesados, ya que su alimentación está basada en invertebrados bentónicos como moluscos, anélidos y artrópodos pequeños (Kim et al. 2007, Kim y Koo 2008, Roodbergen et al. 2008, Strum et al. 2010, Hiller y Barclay 2011), los cuales por vivir en el sedimento están estrechamente vinculados a los metales

---

pesados (McFarland et al. 2002, Hiller y Barclay 2011). Es por eso que este grupo de aves pueden ser indicadores de metales pesados.

En las últimas décadas se ha observado una disminución global de las poblaciones de aves playeras migratorias (Kuwaie et al. 2008, Braune y Noble 2009, Hiller y Barclay 2011). Se sugiere que la pérdida y degradación de sus hábitats naturales, así como la contaminación de estos, pueden ser un factor importante para dicha disminución (Hargreaves et al. 2010, Strum et al. 2010, Zhang y Ma 2011, Lucia et al. 2012).

#### **1.4. Las aves como biomonitores.**

El modelo dinámico de los metales pesados en las aves es bien conocido, Las aves pueden ingerir estos elementos por medio de la alimentación y la respiración (Hoff-Brait y Antoniosi-Filho 2011). Dentro del organismo los metales pueden ser almacenados en diferentes tejidos como hígado, riñón, cerebro, huesos y músculos; y desechados por medio de las excretas o la deposición de estos en las glándulas uropigial, y de la sal, así como las plumas y en el caso de las hembras en la puesta de huevos (Hoff-Brait y Antoniosi-Filho 2011).

La evaluación de los metales pesados y contaminantes disponibles cuantificados en las aves, pueden dar una mejor imagen de los riesgos que estos representan para el hombre más que la evaluación de metales en el medio físico, plantas o invertebrados (Barbieri et at. 2010, Mansouri et al. 2011, Qian-Qian et al. 2012).

---

Kim y Oh (2012) confirman que las aves playeras en particular pueden ser buenos biomonitores de contaminación por metales pesados en los ambientes estuarinos.

---

## **2. ANTECEDENTES.**

### **2.1. Monitoreo de metales pesados en plumas.**

Las plumas han sido usadas para el biomonitoreo de metales pesados desde 1960, siendo un tejido favorable para este tipo de estudios ya que:

1. Una de las vías que utilizan las aves para eliminar los metales pesados es mediante las plumas (Burger et al. 1993, Burger et al. 1994, Burger 1996, Monteiro et al.1998, Pain et al. 2005).

2. Los niveles de metales pesados en la circulación de la sangre reflejan los niveles que entran al cuerpo por medio de la ingestión de alimento e inhalación, además de una pequeña porción de los metales que son removidos de algunos órganos y tejidos internos que llegan nuevamente a la sangre (Golden et al. 2002, Barbieri et al. 2010). Los niveles de metales pesados en las plumas reflejan los niveles en la sangre en el momento del crecimiento de la pluma, cuando estas están conectadas con los vasos sanguíneos. Estos metales se incorporan a la estructura de la queratina de la pluma, lo que hace que los perfiles de concentración sean estables a comparación de otros órganos (Burger et al.1993, Dauwe et al. 2000, Norris et al. 2007, Barbieri et al. 2010, Burger et al. 2009).

3. Las plumas no involucran sacrificio de las aves y son fáciles de coleccionar provocando daños mínimos (Burger et al.1993, Zhang y Ma 2011, Kim y Oh 2012,

---

Qian-Qian et al. 2012). Además proporciona la posibilidad de estudiar las concentraciones de metales pesados en especies raras y en peligro de extinción (Martínez et al. 2012, Qian-Qian et al. 2012).

4. Pueden almacenarse fácilmente y sin necesidad de refrigeración (Burger et al. 1993).

### **2.1.1 Diferentes tipos de plumas como herramienta de biomonitoreo.**

En cuanto al uso de los diferentes tipos de plumas, se han utilizado las plumas de pecho y vientre por ser representativas del plumaje y están menos influenciadas por la muda en comparación con las plumas de las alas (Monteiro et al. 1998, Burger et al. 2009, Mansouri et al. 2011, Kim y Oh 2012 y Norouzi y Mansouri 2012). Esto en realidad depende de la especie a analizar, ya que *Calidris mauri*, al igual que la mayoría de las aves migratorias, muda las plumas del cuerpo dos veces al año (plumaje básico de invierno y plumaje alterno de reproducción) a comparación de las plumas de las alas que solamente las muda una vez al año (Howell et al. 2010). El uso de las plumas del pecho tiene ventaja de que pueden ser colectadas sin afectar la eficiencia del vuelo, pues son remplazadas más rápido que las plumas primarias (Burger et al. 1993). A pesar de lo anterior, el uso de las plumas de cuerpo recientemente ha sido cuestionada debido a la alta variabilidad en las concentraciones de metales (Martínez et al. 2012).

Así pues, las plumas primarias suelen ser una mejor opción para determinar metales pesados de una región en particular, pues la muda de las plumas de vuelo

---

tiene lugar en un momento determinado del año y el metal en el cuerpo se moviliza para ser desechado por medio de las plumas en desarrollo. (Bearhop et al. 2000, Dauwe et al. 2003, Roodbergen et al. 2008, Hargreaves et al. 2010). Sin embargo, las plumas de vuelo tienen la desventaja que dependiendo del orden de muda, las plumas que se forman primero van a tener mayores concentraciones de metales pesados que las que se forman después (Martínez et al. 2012).

## **2.2. Metales pesados.**

### **2.2.1. Cadmio (Cd).**

El Cadmio (Cd) es un metal no esencial para el metabolismo biológico (Furtness y Rainbow 1990). Es un metal poco común y no encontrado en estado puro en la naturaleza, es obtenido de la fundición de Zinc (Zn), Plomo (Pb) y Cobre (Cu), además de combinarse con otros metales pesados para formar aleaciones (Ming 2005). El Cd es utilizado en la manufactura de aeronaves y semiconductores, y en reactores nucleares por su propiedad de absorber fuertemente los neutrones (Ming 2005).

#### **2.2.1.1 Toxicidad y concentración.**

En comparación con los numerosos ejemplos de contaminación y envenenamiento por Mercurio (Hg), el Cd solo ha tenido un incidente de envenenamiento, ocurrido en Japón en 1947 en el río Juntsu, registrando enfermedades reumáticas y

---

dolorosas deformidades esqueléticas, provocado por la descarga de aguas residuales provenientes de una mina de Zinc (Zn) (Mance 1987).

Otros efectos tóxicos observados son disfunción renal a concentraciones de  $100\mu\text{g}\times\text{g}^{-1}$  y afectaciones en el hígado a concentraciones de  $40\mu\text{g}\times\text{g}^{-1}$  en aves (McFarland et al. 2002, Hermoso et al. 2010), fallas en la reproducción por atrofia testicular, adelgazamiento de la cascara de huevo y alteraciones de comportamiento (Stock et al. 1989, Pérez et al. 2005, Hermoso et al. 2006). Se ha reportado que el Cd aumenta su toxicidad cuando se reduce la salinidad y aumenta la temperatura (Mance 1987), por lo tanto las especies que se alimentan en zonas costeras son más propensas a presentar intoxicación por este metal. En cuanto a concentraciones en organismos marinos, las especies que se alimentan en la zona pelágica suelen tener mayores concentraciones Cd que aquellas que se alimentan cerca de la playa (Barbieri et al. 2010).

El Cd es absorbido por medio de la respiración y alimentación, después es transportado a través de la sangre a diferentes órganos y una proporción del 50-75% es retenido principalmente en el hígado y el riñón (Furtness y Rainbow 1990, Barbieri et al. 2010), además es desechado por las plumas y excretas (Stock et al. 1989, Pérez et al. 2005).

Se ha observado que la vida media del Cd en aves y en vertebrados en general es larga, siendo un elemento que se bioacumula con la edad (Furtness y Rainbow 1990, McFarland et al. 2002, Hermoso et al. 2006, Lucia et al. 2012). Por otro lado, se ha observado que el Cd también suele presentarse como un elemento que se

---

biomagnifica a través de la cadena trófica (McFarland et al. 2002, Barbieri et al. 2010). Sin embargo es posible que el patrón general de la concentración de Cd en organismos se vea influenciado por la fisiología de las especies más que por un patrón definido de biomagnificación (Ruelas-Izunza y Páez-Osuna 2007).

En cuanto a los diferentes sexos, se ha observado que en las aves playeras, incluyendo *Calidris mauri*, la concentración de Cd en los órganos como los huesos es menor en las hembras que en los machos (Stock et al. 1989, McFarland et al. 2002). Se asume que las menores concentraciones que presentan las hembras se debe a la puesta de huevos.

#### 2.2.1.2. Acumulación de Cd en plumas.

Diversos estudios indican que la concentración de Cd en las plumas depende de la concentración de Cd en la dieta de las aves, e indica una contaminación ambiental por este metal (Stock et al. 1989, Roodbergen et al. 2008). Por otro lado se ha observado que la correlación de Cd en tejidos blandos y plumas es baja (Stock et al. 1989, Barbieri et al. 2010).

Los niveles de Cd en las plumas asociados con efectos adversos en las aves no han sido determinadas en estudios de laboratorio (Burger et al 2009).

---

### **2.2.2 Plomo (Pb).**

El Plomo (Pb) es clasificado como un elemento no esencial, pues no se conoce que tenga un papel dentro de las funciones biológicas de los seres vivos (Furtness y Rainbow 1990). Ha sido un metal utilizado desde épocas antiguas por su ductilidad y maleabilidad, además de usarse como aditivos en las pinturas y la gasolina sirviendo como antidetonante (Furtness y Rainbow 1990, Ming 2005). Su uso se incrementó después de la revolución industrial y durante la 2da Guerra Mundial, provocando que sus concentraciones en los ecosistemas sean elevadas (Furtness y Rainbow 1990, Ming 2005). A pesar de que hay un progreso en la reducción de emisiones de Pb al ambiente, esto aún es un problema a nivel mundial (Ming 2005).

En cuanto a concentraciones de Pb encontradas mamíferos marinos y aves en zonas oceánicas y costeras, las mayores concentraciones de Pb se han encontrado en la costa, sugiriendo que esto se debe a la industrialización que se desarrolla cerca de las zonas costeras (Furtness y Rainbow 1990).

#### **2.2.2.1 Toxicidad y concentración.**

Algunos compuestos organoplomados lipofílicos y altamente adheribles a la materia orgánica como el tetraalquil plomo, usados anteriormente en aditivos para la gasolina (Furtness y Rainbow 1990, Walker 2009), son compuestos que atraviesan la barrera sangre cerebro, acumulándose en este órgano y provocando

---

daño a nivel del Sistema Nervioso Central (Walker 2009), además involucra también el sistema hematopoyético y los riñones (Ming 2005).

En las aves, el Pb es depositado y acumulado principalmente en tejidos como riñones e hígado donde es retenido por meses, y en huesos donde puede ser retenido por años (Pain et al. 2005). El Pb raramente se encuentra en concentraciones excedentes a  $1\mu\text{g}\text{xg}^{-1}$  de peso seco en el hígado y el riñón (Furtness y Rainbow 1990, Hermoso et al. 2010). Sin embargo, en algunos estudios se ha observado envenenamiento por Pb, con concentraciones que van por arriba de  $5\text{-}7\mu\text{g}\text{xg}^{-1}$  en hígado y riñones (Furtness y Rainbow 1990, Kim et al. 2007, Hargreaves et al. 2010, Hiller y Barclay 2011). Además, se ha encontrado una disminución del crecimiento corporal y del culmen en polluelos (Golden et al. 2002). Además de lo anterior, el Pb es letal a concentraciones mayores a  $10\text{-}20\mu\text{g}\text{xg}^{-1}$  (Kim et al. 2007, Hargreaves et al. 2010, Hiller y Barclay 2011).

El Pb tiene un tiempo de vida media mayor en huesos que en tejidos blandos (que van de 600-3000 días en huesos y de 28 días en tejidos blandos), por lo que generalmente los huesos presentan una mayor concentración (Furtness y Rainbow 1990, Hiller y Barclay 2011), provocando afectaciones en su estructura de los huesos, sobre todo de las alas (Kim et al. 2007, Hargreaves et al. 2010, Hiller y Barclay 2011).

Algunos estudios han encontrado concentraciones mayores de Pb en organismos de mayor tamaño y edad que en organismos jóvenes y pequeños (Furtness y Rainbow 1990, Pain et al. 2005, Burger et al. 2009). El Pb es un elemento con

---

pequeño potencial de bioacumulación y biomagnificación en los niveles tróficos inferiores (Ruelas\_Izunza y Páez-Osuna 2007), a los cuales pertenece *Calidris mauri*.

#### 2.2.2.2 Acumulación de Pb en plumas.

Algunos estudios han determinado que hay una correlación positiva en la concentración en órganos que acumulan Pb, como riñón e hígado, y la concentración en plumas primarias de aves playeras (Golden et al. 2002, Kim and Koo 2008, Kim y Oh 2012). Sin embargo, también existen estudios donde no se observa una buena relación en la acumulación de los órganos internos y las plumas (Stock et al. 1989, Mansouri et al. 2011, Lucia et al. 2013). Se ha observado que cuando el Pb se encuentra en concentraciones por arriba de  $4\mu\text{g}\times\text{g}^{-1}$  de peso seco en las plumas, tiene efectos subletales y reproductivos en las aves (Burger et al 2009, Mansouri et al. 2011, Norouzi y Mansouri 2012).

---

### **2.2.3. Zinc (Zn).**

El Zinc (Zn) es considerado un elemento esencial por que se requiere para el funcionamiento de las metaloproteínas y suele ser regulado en el cuerpo por el metabolismo (Furtness y Rainbow 1990, Mansouri et al. 2011).

#### **2.2.3.1. Toxicidad y concentración.**

El Zn se considera toxico en las aves a concentraciones mayores de  $1200\mu\text{gxg}^{-1}$  (Montes de Oca et al. 1996, Pérez et al. 2005). Algunos autores mencionan que la toxicidad del Zn se debe a su interacción con varios químicos que producen alteraciones en sus patrones de acumulación, toxicidad y metabolismo, por ejemplo, se encuentra vinculado a elevadas concentraciones de Cd en los órganos (Furtness y Rainbow 1990, Kim et al. 2007, Kim et al. 2008, Fosmire 2012, Lucia et al. 2012). Por otro lado, se ha observado que una ingesta excesiva de Zn puede traer como consecuencia una deficiencia de Cu y provocar anemia, leucopenia y neutropenia, además de alteraciones en la respuesta inmune y en los perfiles de lípidos en la sangre (Fosmire 2012).

El Zn en aves playeras y marinas es particular, se presenta en altas concentraciones no pasando de  $200\mu\text{gxg}^{-1}$  (Furtness y Rainbow 1990, Pérez et al. 2005). Estas concentraciones han sido consideradas como fisiológicas normales, ya que es un componente metabólico importante para la regulación del equilibrio acido-básico a través de la enzima anhidrasa carbónica (Montes de Oca et al. 1996).

---

#### 2.2.3.2. Acumulación de Zn en plumas.

Se ha observado una correlación positiva de la concentración de Zn entre los órganos y las plumas de las aves, por lo que la medición de este metal en las plumas nos da una idea de la concentración en el organismo. (Furtness y Rainbow 1990, Kim et al. 2008). La concentración de Zn en las plumas de aves de sitios industrializado y forestales es similar (Qian-Qian et al. 2012), debido posiblemente a que es un elemento esencial para las funciones biológicas del organismo (Montes de Oca et al. 1996).

---

### **2.3. Biología de *Calidris mauri*.**

El playerito Occidental *Calidris mauri* pertenece a la familia Scolopacidae es una especie de talla pequeña (17cm), con un peso entre 22 y 35 gr, un pico grueso en la base y ligeramente decurvado en la punta (Wilson 1994). Es una de las especies más abundantes del hemisferio occidental, con una población estimada entre 3 y 3.5 millones de individuos (Wilson 1994).

A pesar de lo anterior, es una de las especies de aves playeras prioritaria en cuanto a su conservación, ya que se ha observado una disminución en el tamaño de su población en sitios clave de descanso en su migración, como Texas y la Columbia Británica (Wilson 1994).

Sus áreas de reproducción se presentan al noroeste de Alaska, en la península Chatotski y al éste de Siberia; la migración y estancia de invierno ocurre en su mayoría a lo largo la costa del Pacífico, desde California hasta Perú y un pequeño número de individuos se presentan en las costas del Atlántico entre el Sur de Carolina y Venezuela (Wilson 1994). El noroeste de México representa una de las regiones de invernada más importante para la especie, ya que se encuentra más del 30% de la población mundial (Fernández et al. 2004, Franks et al. 2012).

---

### 2.3.1 Migración.

*Calidris mauri* es una especie migratoria de larga distancia, que migra principalmente a lo largo del Corredor Migratorio del Pacífico (Wilson 1994). Su distribución durante la época no reproductiva es diferencial por sexo y clases de edad (Nebel et al. 2002). Una gran proporción de hembras invernan en latitudes menores, mientras que los machos son predominantes en latitudes mayores (Nebel et al. 2002). En cuanto a las clases de edad, los subadultos se encuentran desproporcionadamente distribuidos en los extremos, dando lugar a una distribución en forma de “U” (Nebel et al. 2002).

Se ha encontrado que los individuos, dentro de cada sexo y clase de edad, que migran más al sur, presentan alas y picos más largos que aquellos que invernan en sitios más norteños (O’Hara et al. 2006). Además, los subadultos que invernan en sitios más al norte, son más propensos a migrar al norte e intentar reproducirse en su primer año que aquellos que invernan en sitios más sureños (Fernández et al. 2004, O’Hara et al. 2005). Esto sugiere que la probabilidad de supervivencia de *Calidris mauri* está relacionada con la longitud de la migración y el momento en el que sucede la reproducción (Johnson 2006).

Al igual que otras especies de aves playeras, *Calidris mauri* presenta una elevada fidelidad a los sitios de reproducción y de invierno (Sandercock et al. 2000, O’Hara 2002, Fernández et al. 2004, Johnson 2006). Sin embargo, su conectividad migratoria no es fuerte, ya que en los sitios de reproducción se encuentran individuos que invernaron en varios sitios (Franks et al. 2012).

---

### **2.3.2 Muda.**

En cuanto a la muda, los adultos y subadultos mudan las plumas primarias y del cuerpo en tiempos y sitios diferentes. Los adultos de *Calidris mauri* exhiben la estrategia de muda de aves playeras del hemisferio norte para sitios de Invierno, que incluye el inicio de la muda con algunas plumas del cuerpo, la cabeza y cola en los sitios de reproducción, después suspenden la muda durante la migración de otoño para continuar en los sitios de invierno con la muda de las plumas primarias (O'Hara et al. 2002, Howell 2010, Franks et al. 2009). Por lo anterior, las plumas de vuelo en adultos son ideales para distinguir perfiles de metales de cada sitio de invierno (Franks et al. 2012).

Los individuos subadultos completan su plumaje (cuerpo y alas) en los sitios de reproducción (Howell 2010) y mantienen las plumas de vuelo durante sus primeras tres migraciones (O'Hara et al 2002, Franks et al. 2009).

La concentración de metales pesados en las clases de edad puede ser diferente, ya que los adultos mudan las plumas en los sitios de invierno y los subadutos en los sitios de reproducción.

---

### 2.3.3 Alimentación.

*Calidris mauri* se alimenta de invertebrados de bajos niveles tróficos, como organismos de la epifauna (cumaceos) e infauna (moluscos y poliquetos) intermareal, así como biofilm (Mathot y Elnor 2004, Nebel et al. 2005, Kuwae et al. 2008). Esta especie utiliza picotazos superficiales y profundos para alimentarse de invertebrados epifauniticos e infauniticos, respectivamente (Mathot y Elnor 2004, Nebel et al. 2005).

Se ha observado grandes cantidades de sedimento en el contenido estomacal de *Calidris mauri*, debido al pastoreo de biofilm (Kuwae et al. 2008, Mathot et al. 2010). La capa de biofilm expuesta en los sedimentos comprende una matriz mucilaginoso secretada por bacterias y diatomeas donde se pegan sedimentos, detritus orgánicos y microbentos, lo cual establece una estrecha relación con los metales pesados que existen en los sedimentos.

*Calidris mauri* presenta dimorfismo sexual inverso, donde los machos son más pequeños que las hembras presentando un pico menor a 24.2mm a diferencia de las hembras que presentan un pico mayor a 24.8mm (Page y Fearis 1971) Esto sugiere una diferencia funcional entre sexos en el comportamiento de alimentación (Nebel et al. 2005, Mathot y Elnor 2004, Fernández y Lank 2008, Mathot et al 2010). Se propone que las hembras se alimentan más frecuentemente de presas infauniticas mientras que los machos se alimentan principalmente de presas epifauníticas (Mathot y Elnor 2004, Nebel et al. 2005). Aunque hay una tendencia

---

de las hembras a consumir más invertebrados que los machos, no hay una diferencia significativa en la dieta entre sexos (Mathot et al. 2010).

---

### 3. J USTIFICACION ACADEMICA.

Las aves playeras son indicadores de contaminantes en humedales. En particular, *Calidris mauri* es una de las especies de aves playeras más abundantes en el Corredor Migratorio del Pacífico y su amplia distribución durante el invierno la hace vulnerable a cualquier afectación durante su época no reproductiva. Esta especie puede ser indicadora de metales pesados por sus hábitos de forrajeo y su fidelidad a los sitios de invierno.

El estudio de la concentración de metales pesados en aves puede mostrar diferencias entre especies de acuerdo a su biología, historia de vida y otros factores. Además si se considera el status migratorio de algunas especies, se puede afinar la presencia de metales pesados en diferentes localidades donde habitan las aves durante su ciclo anual. Por lo anterior, es importante conocer los metales pesados en aves playeras que utilizan los humedales costeros del noroeste de México, pues los efectos anteriormente señalados, pueden afectar también al ser humano.

A pesar de que *Calidris mauri* es una de las especies más abundantes y estudiadas de Norteamérica, aún existen varios aspectos por conocer. Este estudio permitirá hacer una primera aproximación de los perfiles de algunos metales pesados en plumas de esta especie, así como determinar las diferencias entre sitios de invernación, clases de edad y sexo que se pueden presentar en esta especie respecto a su fisiología, hábitos de forrajeo e historia de vida.



---

## 4. PREGUNTAS DE INVESTIGACION.

- ¿Las concentraciones de Cadmio, Plomo y Zinc son diferentes entre las plumas primarias y del pecho de *Calidris mauri*?
- ¿Las concentraciones de Cadmio, Plomo y Zinc en las plumas son diferentes entre subadultos y adultos de *Calidris mauri*?
- ¿Las concentraciones de Cadmio, Plomo y Zinc en las plumas son diferentes entre hembras y machos de *Calidris mauri*?
- ¿Las concentraciones de Cadmio, Plomo y Zinc en las plumas son diferentes entre sitios de invierno?
- ¿Hay variaciones interanuales en las concentración de Cadmio, Plomo y Zinc en las plumas de *Calidris mauri*?

---

## 5. OBJETIVOS.

### 5.1. Objetivo general.

Determinar las concentraciones de Cadmio, Plomo y Zinc en plumas del Playerito Occidental *Calidris mauri* durante la temporada no reproductiva para hacer una primera evaluación de los patrones de concentración de metales en los principales humedales de la región Noroeste de México.

### 5.2. Objetivos específicos.

1. Determinar las concentraciones de Cadmio, Plomo y Zinc las plumas primarias y de pecho de *Calidris mauri* en diferentes sitios de invernada en el Noroeste de México.
2. Comparar las concentraciones de Cadmio, Plomo y Zinc en las plumas primarias y pecho de *Calidris mauri* en diferentes sitios de invernada en el Noroeste de México para determinar si existen diferencias entre sitios de invernada, clases de edad, sexos y temporadas invernales.

---

## 6. HIPOTESIS.

Se sugiere que:

1. Las concentraciones de metales en las plumas primarias y del pecho sean similares.
2. Se espera que las concentraciones de metales en las plumas (primarias y pecho) sean diferentes entre las clases de edad debido a que los subadultos crecen sus plumas en los sitios de reproducción mientras que los adultos en los sitios de invierno.
3. Se espera que las concentraciones de metales en las plumas (primarias y de pecho) sean similares entre hembras y machos, ya que la dieta de esta especie no difiere entre los sexos.
4. Considerando las características intrínsecas de los sitios (origen geológico e intemperismo, así como grado de impacto antropogénico) se espera que las plumas de individuos adultos invernando en cada sitio tengan diferentes concentraciones de metales pesados.
5. Se espera que las concentraciones de metales en las plumas (primarias y pecho) sea similar entre temporadas, dado que las condiciones del sitio de invernada se mantienen relativamente constantes de un año a otro.

## 7. AREA DE ESTUDIO.

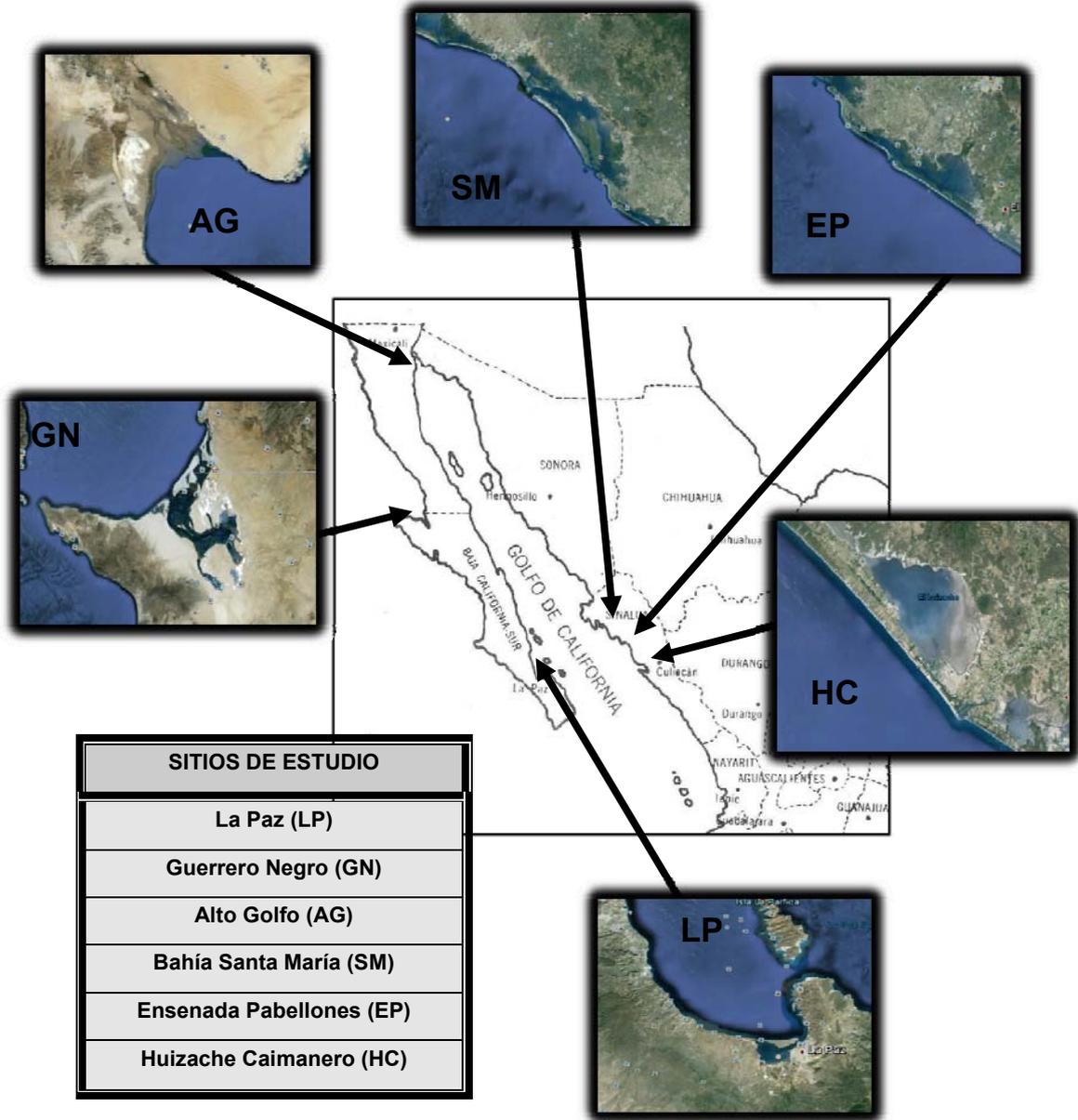


Figura 1- Localización de los diferentes sitios de estudio

---

El área de estudio se localiza al Noroeste del México, en seis humedales ubicados en los estados de Sinaloa, Baja California Sur y Baja California/Sonora (Fig. 1).

**7.1 Alto Golfo, Delta del Rio Colorado, Baja California/Sonora:** Localizado en la región oeste del Desierto de Sonora, en frontera común con Baja California ( $31^{\circ} 38'21.75''N$ ,  $114^{\circ}36'38.04'' O$ ). Abarca aproximadamente  $600 \text{ km}^2$  de extensión. Está rodeado por los biomas más secos de la ecoregión y tiene una zona riparia en su mayoría suplantada por la maleza no nativa de Pino Salado (*Tamarix ramosissima*) (Luecke et al. 1999). El Delta, un área importante para las aves en México, es un sitio Ramsar (Ramsar 2012) y de la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (Western Hemisphere Shorebird Reserve Network 2012).

**7.2 Complejo Lagunar Ojo de Liebre en Guerrero Negro, Baja California Sur:** Localizado en la costa oeste de la Península de Baja California ( $27^{\circ}37'-28^{\circ}05'N$ ,  $113^{\circ}55'-114^{\circ}19'O$ ) ambas lagunas comprenden alrededor de  $500 \text{ km}^2$  de extensión con profundidades menores a 20 metros y se caracteriza por un régimen típico de salinidad antiestuarina (Macías-Zamora et al. 2008). El complejo está rodeado de dunas, pantanos salinos, cuencas salinas naturales y artificiales, y llanuras del desierto de Vizcaíno. Presenta un clima semidesértico y la vegetación en la zona es principalmente halófito y de una altura menor a 30cm (Castellanos y Ortega. 1995). Este lugar es considerado un sitio importante para el arribo de aves migratorias, es por eso que es un sitio Ramsar (Ramsar 2012) y de la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (Western Hemisphere Shorebird Reserve Network 2012).

---

**7.3 Bahía Santa María, Sinaloa:** Se localiza a 90 km al noroeste de Culiacán, justo al sur del poblado “La Reforma” en el estado de Sinaloa (25°02′N, 108°18′O). Es el humedal más grande en la costa de Sinaloa, compuesto por 1350 km<sup>2</sup> de un mosaico de hábitats como marismas intermareales, manglares, aguas salobres, pantanos salobres y marismas de agua dulce. Esta bahía es un sitio Ramsar (Ramsar 2012) y de la Red Hemisférica de Reservas para las Aves Playeras (Western Hemisphere Shorebird Reserve Network 2012).

**7.4 Ensenada Pabelones, Sinaloa:** Localizado en la costa del Pacífico, en el estado de Sinaloa (24°18-24°40 N, 107°27-108°00 O), se encuentra en una zona semiárida con lluvias en verano. Esta es una laguna costera que se enriquece del afluente proveniente del Río Culiacán (Ruiz-Fernández et al. 2003a, Ruiz et al. 2003b, Ruelas-Izunza y Páez 2007). Su cuenca de drenaje tiene 84km de largo antes de llegar al mar en la laguna Ensenada del Pabellón, una laguna con condiciones estuarinas. Esta laguna es un sitio Ramsar (Ramsar 2012) y de la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (Western Hemisphere Shorebird Reserve Network 2012).

**7.5 La Ensenada de La Paz, Baja California Sur:** Laguna costera que se localiza a 24° 40′N y 110° 21′O, con una extensión de aproximadamente 50 km<sup>2</sup>. Presenta varios esteros con mangle rojo (*Rizophora mangle*) y negro (*Avicennia germinans*) y un clima semidesértico, a sus alrededores se observa una vegetación de plantas halófitas, en general el sustrato va de limoso-arenoso a netamente limoso (Galindo-Espinosa 2003). Este humedal es considerado un sitio importante para aves migratorias y por eso es un Sitio Ramsar (Ramsar 2012) y de la Red

---

Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (Western Hemisphere Shorebird Reserve Network 2012).

**7.6 Huizache-Caimanero, Sinaloa:** Se localiza al sur del estado de Sinaloa ( $22^{\circ}50' - 23^{\circ}05' N$  y  $105^{\circ} 55' - 106^{\circ}15' O$ ), con una extensión promedio de  $175\text{km}^2$ . A sus alrededores domina la selva baja caducifolia, con área de manglar y vegetación halófila cercana a la costa. Tiene su afluente del Río Presidio y Baluarte y de los cuales recibe descargas de aguas residuales (Frías-Espéricueta 2004), esta cuenca también recibe los escurrimientos del Río Matatán hacia la corriente principal (De la Lanza y García 1991). Este humedal es un sitio Ramsar (Ramsar Convention 1994) y de la Red Hemisférica de Reservas para Aves Playeras (Western Hemisphere Shorebird Reserve Network 2012).

---

## 8. MATERIALES Y METODOS.

### 8.1. Trabajo de Campo.

El trabajo de campo fue realizado en Huizache Caimanero (HC), Ensenada Pabellones (EP), La Paz (LP), Guerrero Negro (GN), Alto Golfo (AG) y Bahía Santa María (SM). Se realizaron capturas de individuos en las temporadas invernales de Septiembre a Febrero de los ciclos 2008-2009 para todos los sitios y 2009-2010 para todos los sitios exceptuando HC. Además para SM y EP se obtuvieron muestras de las temporadas invernales 2008-2009 al 2011-2012.

La captura de individuos se realizó con redes de niebla. A los individuos capturados se les determinó su edad y sexo. La edad fue determinada por el color de las plumas cobertoras y condición de plumas primarias. Los subadultos tienen plumas cobertoras medias interiores de color castaño y plumas primarias gastadas, mientras que los adultos no tienen plumas cobertoras de color castaño y las plumas primarias son nuevas (O'Hara et al. 2002). El sexo se determinó por la longitud del culmen, las hembras tienen un culmen  $\geq 24.8\text{mm}$  y los machos  $\leq 24.2\text{mm}$  (Page y Fearis 1971).

Para el muestreo de plumas, se recolectaron las plumas primarias (1<sup>ra</sup> y 10<sup>a</sup>, una de cada ala) y algunas plumas del pecho. Las plumas fueron guardadas en bolsas de polietileno para su conservación hasta el análisis en el laboratorio.

---

## **8.2. Análisis de laboratorio.**

Por el volumen de muestra necesario para el análisis, se realizaron muestras compuestas, por lo que se juntaron las plumas de varios individuos del mismo sitio, sexo y clase de edad. Se realizaron muestras compuestas de plumas primarias y de pecho por separado. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera del Dr. Federico Páez Osuna, en la Unidad Académica Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los metales a determinar su concentración en las plumas primarias y de pecho fueron Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Zinc (Zn).

### **8.2.1 Limpieza y preparación del material de laboratorio.**

Con el fin de evitar cualquier contaminación que perjudicara el análisis de las muestras, todo material de laboratorio que se utilizó para la manipulación de las muestras, fue lavado con solución jabonosa, enjuagues de agua corriente y agua destilada, y posteriormente sumergido en un baño de HCl 2M por dos días y en un baño de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) diluido al 30% por otros dos días, posteriormente se enjuagó con agua Mili-Q altamente purificada (Sistema Mili-Q de miliporos). Una vez lavado el material, se secó a temperatura ambiente y se guardó en un lugar libre de polvo y humedad (Moody y Lindstrom 1977).

---

### **8.2.2. Preparación de las muestras.**

Se analizaron las plumas de 1,114 individuos de *Calidris mauri*, de los cuales 321 fueron machos adultos, 240 fueron machos juveniles, 370 hembras adultas y 183 hembras juveniles. El número de individuos por clase de edad y sexo por sitio se muestran en la Tabla 1. Para evitar que la contaminación por la deposición externa de estos metales, las plumas se lavaron con dos baños sónicos de acetona, cada uno seguido de tres enjuagues sónicos de agua Mili-Q. Posteriormente se secaron en un horno a 50° C y se guardaron en bolsas limpias hasta la digestión.

**Tabla 1** . Número de individuos de *Calidris mauri* capturados en seis sitios del Noroeste de México durante las temporadas invernales 2008-2009 a 2011-2012 por grupos de sexo y edad: Macho adulto (MA), macho subadulto (MJ), hembra adulta (HA) y hembra subadulto (HJ), para cada sitio de invierno: Alto Golfo (AG), Guerrero Negro (GN), Ensenada Pabellones (EP), Santa María (SM), La Paz (LP) y Huizache Caimanero (HC).

Sitio	2008-2009				2009-2010				2010-2011				2011-2012			
	MA	HA	MJ	HJ	MA	HA	MJ	HJ	MA	HA	MJ	HJ	MA	HA	MJ	HJ
<b>AG</b>	4	6	10	4	15	-	30	17	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>GN</b>	9	10	7	6	27	16	29	22	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>EP</b>	9	11	12	13	26	31	53	33	48	33	16	21	4	15	4	12
<b>SM</b>	8	6	7	5	17	10	16	10	123	189	16	13	2	2	6	6
<b>LP</b>	9	4	11	5	13	10	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>HC</b>	10	34	18	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Las muestras compuestas fueron hechas con 0.25g de plumas de individuos del mismo sitio, clase de edad, sexo y tipo de pluma. Cuando el material tenía el peso para hacer más de un pool, se hicieron replicas. Cuando el material no tenía el mínimo, se utilizaron todas las plumas de las cuales se disponían para ese sitio, clase de edad, sexo y tipo de pluma. Para la digestión de las muestras, se le agregó 5ml de Ácido Nítrico (HNO<sub>3</sub>) si la muestra pesaba 0.25g y se le agregó 3ml si la muestra pesaba menos de 0.25g. Se dejó predigerir la muestra durante una noche y al día siguiente se realizó la digestión completa en un equipo de Microondas (CEM MDS-2000). Por cada 14 muestras se incluyó un blanco (únicamente con ácido). La solución resultante de la digestión se aforó con agua Mili-Q a 15g y a 10g para las muestras con 5ml y 3ml de ácido nítrico, respectivamente. Las condiciones de operación para el equipo de digestión aparecen en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Condiciones de Operación del equipo de digestión por microondas. El proceso de digestión en el microondas constó de tres etapas (las dos primeras de diez minutos y la última de treinta minutos) con sus respectivas presión (libras\*pulgada<sup>-2</sup>) y su porcentaje de potencia.

<b>Etapa</b>	<b>% de Potencia</b>	<b>Presión (libras pulgada<sup>-2</sup>)</b>	<b>Tiempo (minutos)</b>
1	90%	20	10
2	90%	40	10
3	90%	90	30

---

### **8.2.3 Análisis de muestras.**

Se determinó la concentración de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica con un equipo Varian Spectraa220, con un generador de hidruros adaptado a un horno de grafito para determinar Cd y Pb, y mediante flama para las concentraciones de Zn. La concentración de los diferentes metales se determinó de acuerdo a una curva de calibración para cada elemento.

### 8.3 Análisis del método analítico.

Para evaluar la precisión y exactitud de determinación de las concentraciones de metales, se realizó la lectura de blancos y material de referencia. Las lecturas de los blancos para las plumas primarias y de pecho se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Concentración de Cd, Pb y Zn ( $\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ ) en blancos para plumas primarias y de pecho de *Calidris mauri* invernando en el Noroeste de México durante las temporadas 2008-2009 a 2011-2012. Se muestra la concentración promedio  $\pm$  la desviación estándar.

Metal	Plumas Primarias ( $\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ ) $\pm$ DE	Plumas del Pecho ( $\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ ) $\pm$ DE
Cd	-0.000032 $\pm$ 0.000008	0.000061 $\pm$ 0.000004
Pb	0.003456 $\pm$ 0.000848	0.000095 $\pm$ 0.00001
Zn	-0.021913 $\pm$ 0.011083	-0.036882 $\pm$ 0.000103

La concentración de los metales pesados se expresó en partes por millón ( $\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ ) en base a peso seco y se calculó restando la lectura del blanco a la lectura de la muestra, dividiéndolo entre el peso del tejido utilizado en el análisis, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Metal } (\mu\text{g g}^{-1}) = \frac{\text{Lectura de la Muestra } (\mu\text{g}) - \text{Lectura del Blanco } (\mu\text{g})}{\text{Peso del Tejido (g)}}$$

El material de referencia con concentraciones de metales conocidas fue de hígado de pez Dolt-4 (National Research Council Canadá). Las muestras del material de

referencia fueron leídas con el mismo procedimiento y se calculó el coeficiente de variación de la lectura del metal en cuestión.

**Tabla 4:** Concentración de Cd, Pb y Zn en el material de referencia (Dolt-4).

<b>Metal</b>	<b>Concentración establecida (<math>\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}</math>)</b>	<b>Intervalo de Confianza al 95% (<math>\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}</math>)</b>	<b>Concentración encontrada (<math>\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}</math>)</b>	<b>Coefficiente de Variación (EAA) (%)</b>
Cd	24.3	23.5-25.1	23.91	12.70%
Pb	0.16	0.12-0.20	0.12	6.03%
Zn	116.0	110-122	114.78	0.85%

---

#### **8.4 Análisis Estadísticos.**

Los análisis estadísticos se realizaron con las lecturas de las muestras compuestas. De los 1,114 individuos de *Calidris mauri* con muestras de plumas, se obtuvieron 105 muestras compuestas de plumas primarias y 102 de plumas del pecho. El número de muestras compuestas por sitio, clase de edad, sexo y tipo de pluma se muestra en la Tabla 5. Por cuestiones prácticas se manejaron dos bases de datos, una que incluye los seis sitios de invierno con muestras recolectadas en las temporadas 2008-2009 y 2009-2010 (Evaluación Regional) y otra con las muestras recolectadas para EP y SM durante las temporadas invernales 2008-2009 a 2011-2012 (Evaluación de Sinaloa). En cada caso se buscaron diferencias en las concentraciones de metales entre sitios, clases de edad, sexo, temporadas y tipo de plumas. Considerando que el tamaño de muestra es pequeño, se realizó un Análisis de Varianza incluyendo todos los factores (sitio, sexo, temporada, y tipo de pluma) pero sin considerar interacciones. Esta estructura del modelo permite determinar si hay diferencias en los niveles de metales por un factor tomando en cuenta el efecto de los otros factores. Si bien, esta estructura de análisis estadístico es sencilla, ofrece la certeza de saber si las concentraciones de metales en las plumas son diferentes entre los factores considerados. Dado que las clases de edad mudan las plumas en sitios diferentes, el análisis se realizó por separado para adultos y subadultos. Además, se realizó una evaluación para comparar las dos clases de edad. Los análisis se realizaron con el programa JMP 6 con un nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0.05. Se presentan valores de las medias ajustadas (Least Square Means)  $\pm$  Error Estándar (ES).

**Tabla 5.** Numero de muestras compuestas de plumas primarias y de pecho de *Calidris mauri* capturados en seis sitios del Noroeste de México durante las temporadas invernales 2008-2009 a 2011-2012. Se muestra el número de muestras compuestas de plumas primarias/plumas de pecho por grupos de sexo y edad: Macho adulto (MA), macho subadulto (MJ), hembra adulta (HA) y hembra subadulto (HJ), para cada sitio de invierno: Alto Golfo (AG), Guerrero Negro (GN), La Paz (LP), Santa María (SM), Ensenada Pabellones (EP) y Huizache Caimanero (HC).

Sitio	2008-2009				2009-2010 2010-2011				2011-2012							
	MA	HA	MJ	HJ	MA	HA	MJ	HJ	MA	HA	MJ	HJ	MA	HA	MJ	HJ
<b>AG</b>	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	-	2/2	1/2	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>GN</b>	1/1	1/1	1/1	1/1	2/2	1/1	2/2	2/2	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>EP</b>	2/2	2/2	2/1	1/1	3/3	2/2	3/6	1/1	2/4	2/3	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
<b>SM</b>	1/1	1/1	1/1	1/1	1/2	1/1	1/1	1/1	7/7	21/13	1/1	2/1	1/1	1/1	1/1	1/1
<b>LP</b>	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>HC</b>	2/2	3/2	1/1	3/3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

---

## 9. RESULTADOS.

### 9.1. Cadmio (Cd).

#### 9.1.1 Evaluación Regional.

En las plumas de los individuos adultos de *C. mauri*, las concentraciones de Cd no fueron significativamente diferentes entre los sitios de invierno ( $F_{(5,51)}=0.68$ ,  $p=0.63$ ), ni entre temporadas ( $F_{(1,51)}=0.48$ ,  $p=0.48$ ), ni entre sexos ( $F_{(1,51)}=0.38$ ,  $p=0.53$ ). Solo se encontraron diferencias significativas entre los tipos de plumas ( $F_{(1,51)}=42.05$ ,  $p<0.0001$ ), en donde las plumas primarias tuvieron mayor concentración de Cd que las plumas de pecho ( $0.037\pm 0.004 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $0.004\pm 0.004 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente).

En cuanto a los subadultos, los resultados fueron similares a los observados en los adultos. Las concentraciones de Cd en las plumas no fueron significativamente diferentes entre los sitios de invierno ( $F_{(5,54)}=0.90$ ,  $p=0.48$ ), ni entre temporadas ( $F_{(1,54)}=0.29$ ,  $p=0.48$ ), ni entre sexos ( $F_{(1,54)}=0.00$   $p=0.94$ ). Las concentraciones de Cd solo fueron significativamente diferentes entre los tipos de plumas ( $F_{(1,54)}=34.23$ ,  $p<0.0001$ ), en donde las plumas primarias tuvieron mayor concentración de Cd que las plumas de pecho ( $0.055\pm 0.006 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $0.005\pm 0.006 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente).

Las concentraciones de Cd en las plumas primarias ( $F_{(1,60)}=2.66$ ,  $p=0.10$ ) y de pecho ( $F_{(1,62)}=1.02$ ,  $p=0.31$ ) no fueron significativamente diferentes entre clases de edad.

### 9.1.2 Evaluación de Sinaloa.

Las concentraciones de Cd en plumas primarias y de pecho de individuos adultos de *C. mauri* invernando en Bahía Santa María y Ensenada Pabellones, no fueron significativamente diferentes entre sitios ( $F_{(1, 87)}=1.98$ ,  $p=0.16$ ), ni entre temporadas ( $F_{(3,87)}=1.84$ ,  $p=0.14$ ) ni entre sexos ( $F_{(1,87)}=0.41$ ,  $p=0.52$ ). Las concentraciones de Cd solo fueron diferentes entre los tipos de plumas ( $F_{(1,87)}=46.27$ ,  $p<0.0001$ ), siendo las plumas primarias las que presentaron una mayor concentración de Cd que las plumas de pecho ( $0.049\pm 0.005 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ . vs  $0.007\pm 0.005 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente).

En los individuos subadultos las concentraciones de Cd en las plumas presentaron un esquema similar al observado en los adultos. Los valores de Cd no fueron significativamente diferentes entre sitios ( $F_{(1,34)}=0.01$ ,  $p=0.91$ ), ni entre temporadas ( $F_{(3,34)}=1.87$ ,  $p=0.15$ ), ni entre sexos ( $F_{(1,34)}=0.94$ ,  $p=0.33$ ). Las concentraciones de Cd solo fueron diferentes en el tipo de plumas ( $F_{(1,34)}=19.43$ ,  $p<0.0001$ ), siendo superiores en las plumas primarias a las observadas en las plumas del pecho ( $0.053\pm 0.007 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $0.004\pm 0.008 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente).

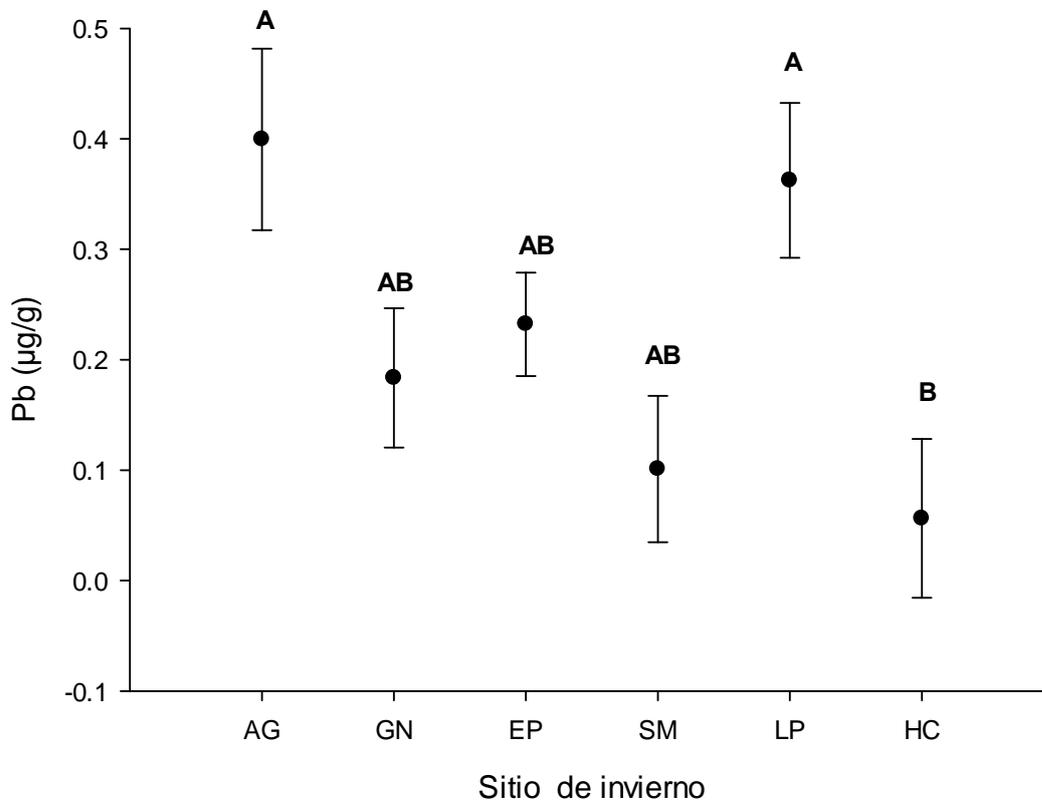
Las concentraciones de Cd en las plumas primarias ( $F_{(1,129)}=3.21$ ,  $p=0.07$ ) y de pecho ( $F_{(1,128)}=0.86$ ,  $p=0.35$ ) no fueron significativamente diferentes entre clases de edad.

---

## 9.2 Plomo (Pb).

### 9.2.1 Evaluación Regional.

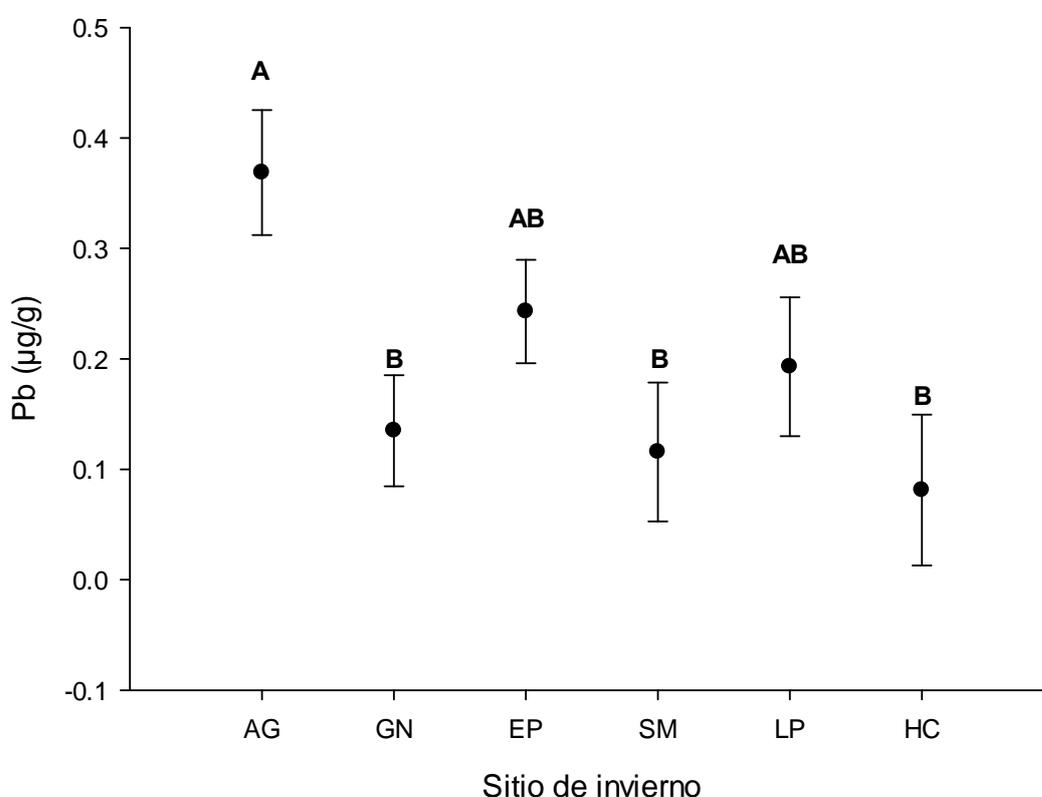
Las concentraciones de Pb en las plumas de individuos adultos no fueron significativamente diferentes entre sexos ( $F_{(1,51)}=0.38$ ,  $p=0.53$ ), ni entre tipos de plumas ( $F_{(1,51)}=0.03$ ,  $p=0.085$ ). Se encontraron diferencias significativas entre los sitios de invierno ( $F_{(5,51)}=3.65$ ,  $p<0.01$ ), las plumas de los individuos invernando en el Alto Golfo y La Paz presentaron una mayor concentración de Pb que aquellos invernando en Huizache-Caimanero (Fig. 3). Además, las concentraciones de Pb en las plumas fueron diferentes entre temporadas invernales ( $F_{(1,51)}=26.17$ ,  $p<0.0001$ ), presentándose una mayor concentración en las plumas de los individuos invernando en la temporada 2008-2009 que aquellas de los individuos invernando en la temporada 2009-2010 ( $0.37\pm 0.04 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $0.08\pm 0.04 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente).



**Figura 2:** Concentración de Plomo (Pb, media ajustada  $\pm$  error estándar) en plumas primarias y de pecho de individuos adultos de *Calidris mauri* invernando en varios sitios del Noroeste de México durante las temporadas invernales 2008-2009 y 2009-2010. Sitios de invierno: Alto Golfo (AG), Guerrero Negro (GN), Ensenada Pabellones (EP), Santa María (SM), La Paz (LP) y Huizache Caimanero (HC). Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.

En las concentraciones de Pb de las plumas de los individuos subadultos, no se encontraron diferencias significativas entre sexos ( $F_{(1,54)}=2.33$   $p=0.13$ ), ni entre los tipos de plumas ( $F_{(1,54)}=0.73$   $p=0.39$ ). Las concentraciones de Pb en plumas fueron diferentes entre sitios de invierno ( $F_{(5,54)}=3.15$ ,  $p=0.01$ ), las plumas de los individuos subadultos invernando en el Alto Golfo presentaron mayores concentraciones de Pb que aquellos que invernaron en Guerrero Negro, Santa

María y Huizache Caimanero (Fig. 4). Además, las concentraciones de Pb fueron diferentes entre temporadas invernales ( $F_{(1,54)}=3.14$ ,  $p=0.01$ ), las plumas de los individuos subadultos de la temporada 2008-2009 presentaron mayor concentración de Pb que aquellas de los individuos subadultos invernando en la temporada 2009-2010 ( $0.28\pm 0.03\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $0.10\pm 0.034\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente).

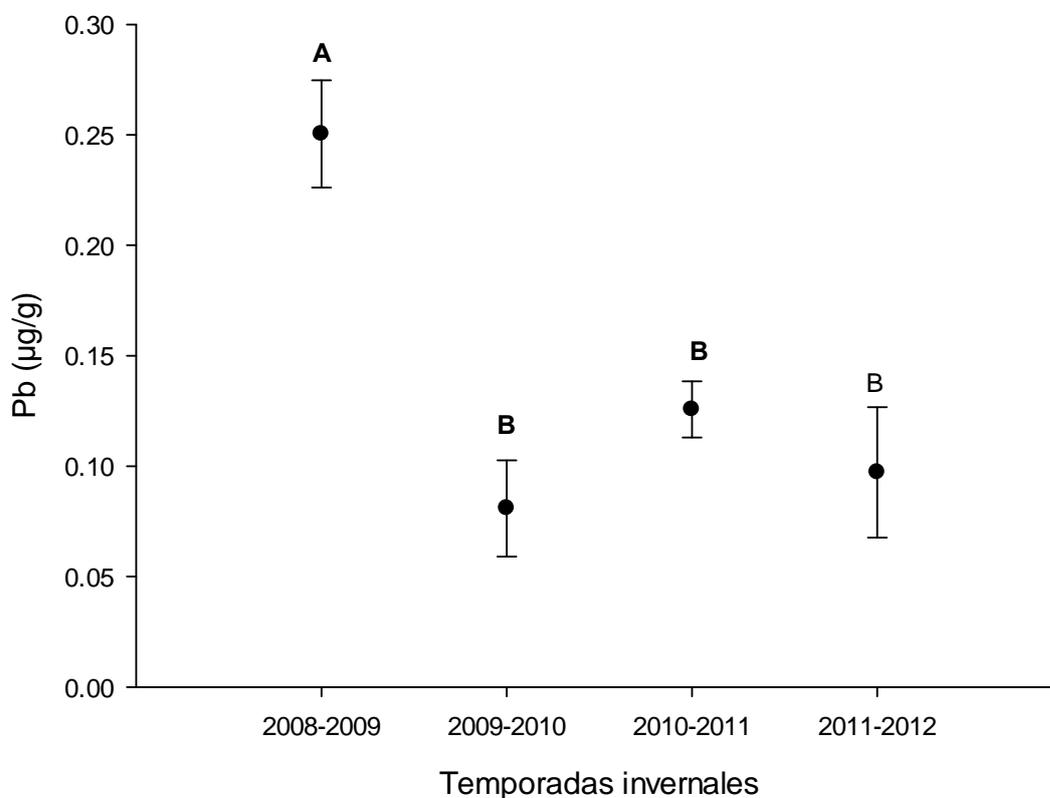


**Figura 3**: Concentración de Plomo (Pb, media ajustada  $\pm$  error estándar) en plumas primarias y de pecho de individuos subadultos de *Calidris mauri* invernando en varios sitios del Noroeste de México durante las temporadas invernales 2008-2009 y 2009-2010. Sitios de invierno: Alto Golfo (AG), Guerrero Negro (GN), Ensenada Pabellones (EP), Santa María (SM), La Paz (LP) y Huizache Caimanero (HC). Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.

Individuos adultos y subadultos no presentaron concentraciones de Pb significativamente diferentes en las plumas primarias ( $F_{(1,60)}=0.00$ ,  $p=0.98$ ) y de pecho ( $F_{(1,62)}=0.74$ ,  $p=0.39$ ).

### **9.2.2 Evaluación de Sinaloa.**

Las concentraciones de Pb en las plumas de individuos adultos no fueron significativamente diferentes entre sexos ( $F_{(1,87)}=0.08$   $p=0.76$ ), pero si fueron diferentes entre sitios ( $F_{(1,87)}=9.77$ ,  $p<0.01$ ), encontrándose una mayor concentración de Pb en las plumas de individuos invernando en Ensenada Pabellones que las plumas de individuos invernando en Santa María ( $0.17\pm 0.01 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $0.11\pm 0.15 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente). Además, se presentaron diferencias significativas entre temporadas invernales ( $F_{(3,84)}=9.77$ ,  $p<0.0001$ . Fig. 5), presentándose con mayor concentración de Pb las plumas de individuos que invernaron durante la temporada 2008-2009 que las plumas de individuos invernando durante las demás temporadas. Por último, las plumas primarias tuvieron mayores concentraciones de Pb que las plumas del pecho ( $F_{(1,84)}=10.8642$ ,  $p=0.0014$ ; con  $0.17\pm 0.01 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $0.11\pm 0.01 \mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente).



**Figura 4** : Concentración de Plomo (Pb, media ajustada  $\pm$  error estándar) en plumas primarias y de pecho de individuos adultos de *Calidris mauri* invernando en la costa de Sinaloa, México, durante las temporadas invernales 2008-2009 a 2011-2012. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.

En cuanto a los individuos subadultos, los valores observados de Pb en plumas no fueron diferentes entre sexos ( $F_{(1,34)}=0.17$ ,  $p=0.68$ ), ni entre temporadas invernales ( $F_{(3,34)}=0.14$ ,  $p=0.25$ ). Se encontraron diferencias significativas entre los sitios de invierno ( $F_{(1,34)}=1.40$ ,  $p<0.01$ ) y tipos de pluma ( $F_{(1,34)}=18.64$ ,  $p<0.01$ ). La concentración de Pb en las plumas de individuos subadultos invernando en Ensenada Pabellones fue mayor que la concentración en plumas de individuos invernando en Santa María ( $0.19\pm 0.01\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $0.12\pm 0.02\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ ). Además, las

---

plumas primarias presentaron mayor concentración de Pb que las plumas de pecho ( $0.25 \pm 0.016 \mu\text{g} \times \text{g}^{-1}$  vs  $0.11 \pm 0.016 \mu\text{g} \times \text{g}^{-1}$ , respectivamente).

En las concentraciones de Pb de las plumas primarias ( $F_{(1,129)}=0.13$ ,  $p=0.71$ ) y de pecho ( $F_{(1,128)}=0.06$ ,  $p=0.30$ ) no se encontraron diferencias significativas entre adultos y subadultos.

## 9.3 Zinc (Zn).

### 9.3.1 Evaluación regional.

Las concentraciones de Zn en plumas de individuos adultos no fueron significativamente diferentes entre sitios de invierno ( $F_{(5,51)}=0.51$ ,  $p=0.76$ ), temporadas invernales ( $F_{(1,54)}=0.77$ ,  $p=0.38$ ), sexos ( $F_{(1,51)}=0.00$ ,  $p=0.97$ ), o tipos de plumas ( $F_{(1,51)}=0.94$ ,  $p=0.33$ ).

En cuanto a los individuos subadultos, las concentraciones de Zn en las plumas no fueron diferentes entre los sitios de invierno ( $F_{(5,54)}=1.41$ ,  $p=0.23$ ), sexos ( $F_{(1,54)}=0.18$ ,  $p=0.66$ ), o tipo de plumas ( $F_{(1,54)}=0.01$ ,  $p=0.90$ ). Solo se presentaron diferencias significativas entre las diferentes temporadas invernales ( $F_{(1,54)}=10.87$ ,  $p<0.01$ ), presentándose una mayor concentración de Zn en las plumas de individuos invernando en las temporadas 2008-2009 que en las plumas de los individuos invernando en la temporada 2009-2010 ( $104.6\pm 2.6\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $92.1\pm 2.6\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente).

Las concentraciones de Zn en las plumas primarias ( $F_{(1,60)}=0.77$ ,  $p=0.38$ ) y de pecho ( $F_{(1,62)}=1.87$ ,  $p=0.17$ ) no fueron significativamente diferentes entre clases de edad.

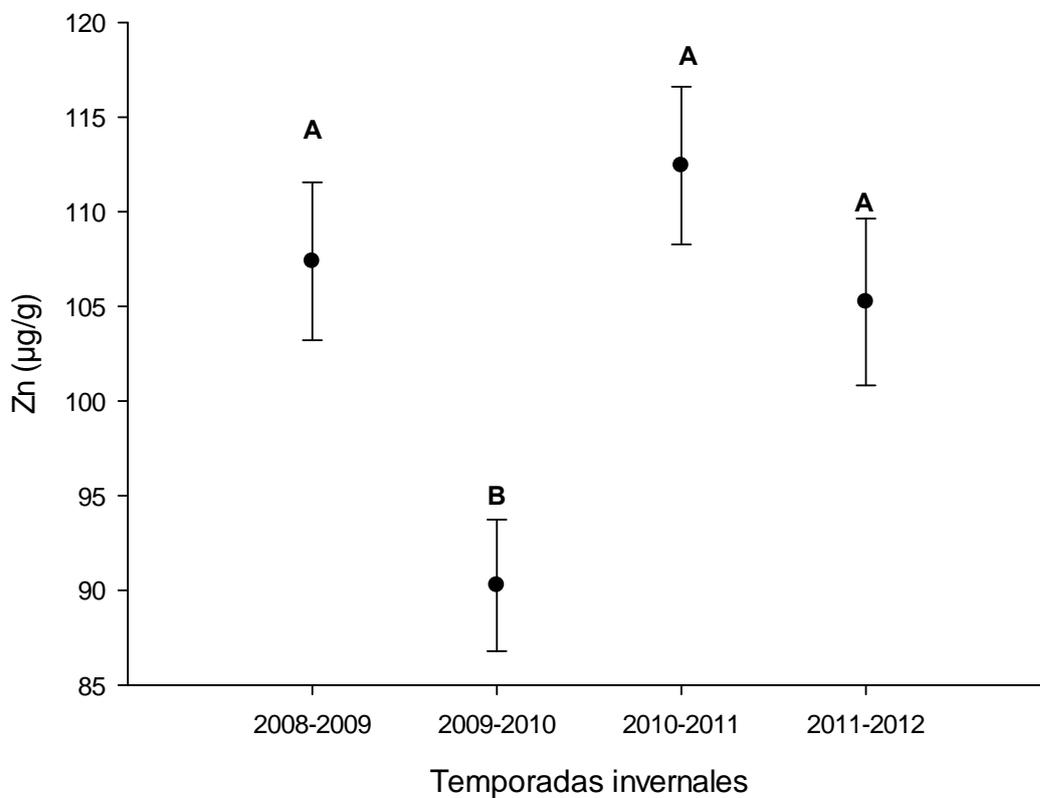
### 9.3.2 Evaluación de Sinaloa.

Las concentraciones de Zn no fueron significativamente diferentes entre sitios ( $F_{(1,87)}=0.66$ ,  $p=0.40$ ) o entre temporadas invernales ( $F_{(3,87)}=1.86$ ,  $p=0.14$ ). Solo se

---

encontraron diferencias significativas entre sexos ( $F_{(1,87)}=7.40$ ,  $p<0.01$ ) y tipos de plumas ( $F_{(1,87)}=9.50$ ,  $p<0.01$ ). Las plumas de los machos presentaron mayores concentraciones de Zn que las plumas de las hembras ( $110.8\pm 2.4\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $103.1\pm 2.3\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  respectivamente), Además, las plumas primarias presentaron mayores concentraciones de Zinc que las plumas del pecho ( $111.1\pm 2.2\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$  vs  $102.8\pm 2.2\mu\text{g}^x\text{g}^{-1}$ , respectivamente).

Las concentraciones de Zn en plumas de los individuos subadultos no presentaron diferencias significativas entre los diferentes sitios de invierno ( $F_{(1,34)}=0.62$ ,  $p=0.43$ ), sexos ( $F_{(1,34)}=0.26$ ,  $p=0.61$ ) o tipo de pluma ( $F_{(1,34)}=1.56$ ,  $p=0.22$ ). Solo se presentaron diferencias significativas entre temporadas invernales ( $F_{(3,34)}=6.51$ ,  $p<0.01$ ), con una menor concentración de Zn en las plumas de individuos invernando en la temporada 2009-2010 en comparación con las demás temporadas invernales (Fig. 6).



**Figura 5:** Concentración de Zinc (Zn, media ajustada  $\pm$  error estándar) en plumas primarias y de pecho de individuos subadultos de *Calidris mauri* invernando en la costa de Sinaloa, México, durante las temporadas invernales 2008-2009 a 2011-2012. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos.

En las concentraciones de Zn de las plumas primarias ( $F_{(1,129)}=2.65$ ,  $p=0.10$ ) y de pecho ( $F_{(1,128)}=3.16$ ,  $p=0.07$ ) no se encontraron diferencias significativas entre clases de edad.

---

## 10. DISCUSIONES.

### 10.1 Variación en la concentración de metales pesados entre tipos de plumas de *Calidris mauri*.

Las plumas primarias y de pecho de *Calidris mauri* crecen en su mayoría en los sitios de invierno para los adultos y en los sitios de reproducción en su totalidad para los subadultos, (Franks et al. 2009, Howell 2010, Franks et al. 2012). En el presente estudio se esperaba que no hubiera diferencias significativas entre las concentraciones de metales pesados en plumas primarias y plumas del pecho de adultos y subadultos. Sin embargo, las concentraciones de Cd en las plumas primarias de *Caliris mauri* fueron mayores a las plumas del pecho para adultos y subadultos, Algo similar ocurrió con el Pb en individuos adultos y subadultos en la evaluación de Sinaloa.

Las concentraciones de metales pesados en las plumas de las diferentes partes del cuerpo de un ave, tienden a ser heterogéneas (Hoff-Brait y Antoniosi-Filho 2011). Sin embargo, existen pocos estudios que mencionan las diferencias que pudieran existir en la concentración endógena de metales pesados en las plumas de diferentes partes del cuerpo, principalmente atribuidas al patrón de muda (Furtness et al. 1986, Pilastro et al. 1993, Monteiro et al. 1998, Dauwe et al. 2003, Martínez et al. 2012) y la pigmentación de la pluma (Dmowski et al. 1984, Gochfeld et al.1991, Niecke et al. 1999).

---

Se cree que la concentración de algunos metales pesados decrece en la sangre durante la muda (Furtness et al. 1986, Dauwe et al. 2003), es posible que la carga de metales pesados de las primeras plumas que se mudan, sea mayor que aquellas que mudan después (Dauwe et al. 2003). En ambas clases de edad de *Calidris mauri* las plumas primarias son las primeras que mudan (Howell 2010). Estas plumas son necesarias para el vuelo y la supervivencia de los individuos, por lo que se requiere una mayor inversión de energía para su crecimiento (Burger et al. 1993), esto puede explicar porque las plumas primarias tienen mayores concentraciones de Cd y Pb que las del pecho.

Se ha observado que las concentraciones de metales pesados en las plumas también están vinculadas a la pigmentación de la pluma. Las plumas que contienen más eumelanina tienen concentraciones más altas de ciertos iones metálicos (Dauwe et al. 2003), así entre más pigmentación tenga la pluma, mayor concentración de metales pesados tendrá (Dmowski et al. 1984). En *Calidris mauri*, las plumas primarias son de color castaño oscuro y las plumas del pecho son blancas, lo que ayuda a explicar las concentraciones de Cd y Pb entre los tipos de plumas.

En el caso del Zn es posible que no se hayan encontrado diferencias entre tipos de plumas debido a que es un elemento esencial y su concentración puede ser regulada homeostáticamente (Goede y De Bruin 1984, Dauwe et al. 2003). Sin embargo, se ha encontrado mayor concentración de Zn en plumas con mayor pigmentación (Nicke et al. 1999), lo que no concuerda con los resultados de este

---

estudio y lo que nos sugiere seguir haciendo estudios respecto a la concentración de metales esenciales en plumas de las aves.

---

## **10.2 Efecto de las clases de edad en las concentraciones de metales pesados en plumas de *Calidris mauri*.**

Las plumas de los individuos adultos de *Calidris mauri* crecen en los sitios de invierno, mientras que las de los subadultos crecen en los sitios de reproducción (O'Hara et al. 2002, Howell 2010, Franks et al. 2009). Por lo anterior se esperaba encontrar concentraciones de metales pesados diferentes en las plumas de los individuos adultos y subadultos de *Calidris mauri*, diferencias que indicaran variaciones en la biodisponibilidad de estos metales en los sitios donde crecen las plumas. Sin embargo, no se encontraron diferencias entre clases de edad para ninguno de los tres metales evaluados.

Varios estudios en plumas de aves han demostrado una bioacumulación de metales pesados en el organismo. El patrón general es que las plumas de los adultos tienen mayores concentraciones de metales pesados que las plumas de los subadultos por consecuencia de la movilización de metales pesados desde los órganos internos hacia las plumas (Burger 1995, 1996, Burger et al. 2009, Barbieri et al. 2010, Mansouri et al. 2011), en lo cuales se puede observar claramente un patrón de bioacumulación (MacFarland et al. 2002, Pain et al. 2004, Braune y Noble 2009, Lucia et al. 2012). A pesar de lo anterior, existen otros estudios que no han encontrado diferencias en los perfiles de metales pesados en plumas entre edades (Stock et al. 1989, Burger 1993, Burger y Gochfeld 2009).

La razón de que la concentración de Cd, Pb y Zn sea similar en adultos y subadultos de *Calidris mauri* se puede deber a que tanto en zonas de

---

reproducción como en zonas de invierno, la biodisponibilidad de estos metales es similar y que la concentración de metales pesados en las plumas depende en mayor medida de los niveles de metales pesados que hay en la sangre por la ingestión e inhalación más que a la movilización de los metales pesados desde los órganos internos hacia las plumas, similar a lo observado en el estudio de la concentración de metales pesados en órganos internos y plumas de *Calidris canutus* y *Limosa limosa*, donde se encontró un patrón de bioacumulación en los órganos internos, pero no encontró un patrón de bioacumulación en las plumas (Lucia et al. 2012).

En cuanto al Zn, es probable que al ser un metal esencial regulado por mecanismos homeostáticos en los organismos, provoque que se mantenga una concentración adecuada para cada organismo (Goede y Bruin 1984, Kim et al. 2007, Kim et al. 2009, Hearngraves et al. 2011, Quian-Quian et al. 2012), lo cual no nos arroja diferencias entre clases de edad en *Calidris mauri*. Además, las excretas son la principal vía de desecho del Zn, por lo cual es lógico que ambas clases de edad de *Calidris mauri* tengan concentraciones de Zn similares (Mahonna et al. 2010).

---

### **10.3 Efecto del sexo en la concentración de metales pesados en plumas de *Calidris mauri*.**

A pesar del dimorfismo en la longitud del pico y la diferencia en método de alimentación por sexos en *Calidris mauri*, no se han encontrado diferencias significativas en la dieta entre hembras y machos (Mathot et al. 2010). De acuerdo a lo esperado, no se encontraron diferencias significativas en la concentración de metales en plumas entre hembras y machos.

Existen estudios donde no se han encontrado diferencias en la concentración de metales entre sexos (Stock et al. 1989, Burger et al. 1994, Lucia et al. 2013). Otros estudios han encontrado diferencias en algunos de los metales estudiados, sin tener un patrón consistente entre machos y hembras (Burger et al. 2007, 2009, Mansouri et al. 2011, Martínez et al. 2012, Norouzi y Mansouri 2012). Hay varios factores que pueden influir en que no se observen diferencias en las concentraciones de metales en las plumas de hembras y machos. Uno de ellos es que la concentración de metales pesados en plumas no presenta una buena relación con la concentración de metales en tejidos internos como hígado y riñón, en donde se observa con más frecuencia una diferencia entre sexos, donde las hembras presentan una menor concentración de metales pesados que los machos (Stock et al. 1989, Mansouri et al. 2011, Lucia et al. 2013). Otro factor a considerar es que los sexos no presentan una diferencia significativa en la dieta y que la movilización de los metales pesados desde los órganos internos a la puesta de

---

huevo no es suficiente como para propiciar una diferencia significativa entre sexos en la concentración de metales en las plumas (Martínez et al. 2012).

En el caso de metales esenciales como el Zn, es posible que no se encuentren diferencias entre sexos debido a los requerimientos de las aves por este elemento y la regulación corporal del mismo (Heargraves et al. 2011). Lo que nos lleva a la regulación del desecho de este elemento.

---

#### **10.4 Variaciones espaciales en la concentración de metales pesados en plumas de *Calidris mauri*.**

A escala regional, solo se detectaron diferencias en las concentraciones de Pb en las plumas de individuos adultos y subadultos, en particular los individuos invernando en el Alto Golfo y La Paz presentaron mayores concentraciones que los individuos invernando en Huizache Caimanero. Lo anterior sugiere, tomando en cuenta a los individuos adultos, una diferencia en la biodisponibilidad de Pb entre sitios de invierno, mientras que las diferencias en los subadultos, puede significar una diferencia en la biodisponibilidad de Pb en los sitios de reproducción de los cuales provienen los individuos subadultos (Franks et al. 2012).

El resultado observado tomando en cuenta a los individuos adultos invernando en el Alto Golfo, puede ser explicado considerando varios aspectos: 1) En general el viento es el medio de transporte importante para movilizar el Pb (Barbieri et al. 2010, Frias-Espéricueta 2010, Hoff-Brait y Antoniosi-Filho 2011). 2) Las concentraciones de Pb en el Golfo de California provienen principalmente del Pb antropogénico de origen norteamericano, la erosión natural de la roca madre y las emisiones de Pb por el uso de gasolina plomada en el pasado (Soto-Jiménez y Russel-Flegal 2009). 3) El Alto Golfo recibe las descargas agrícolas del Valle de Mexicali, las cuales contiene altas concentraciones de agroquímicos como fertilizantes e insecticidas (Daesslé et al. 2009). 4) A lo largo de su carrera de más de 2,300 kilómetros, el Río Colorado acumula Uranio (U) y por consiguiente Pb el cual es un producto del decaimiento del U, provocando que los niveles estén por

---

arriba de los umbrales de seguridad establecidos para el consumo humano (Salamanca y Jara 2003, MaGinley 2009). Considerando lo anterior, es lógico que el Alto Golfo se presente con mayores concentraciones de Pb que el Huizache-Caimanero.

En cuanto a la Paz, este sitio ha sido considerado casi libre de fuentes de contaminación por causa antropogénicas gracias a su densidad poblacional baja (Méndez et al. 2006), por lo que no se tiene explicación en cuanto a las mayores concentraciones encontradas en la Paz en comparación con el Huizache Caimanero. Lo anterior sugiere comenzar a realizar mayores estudios en esta zona, para corroborar las que las concentraciones de metales pesados y en este caso de Pb no están aumentando en este sitio.

En la comparación en Sinaloa, se encontraron mayores concentraciones de Pb en las plumas de *Calidris mauri* invernando en Ensenada Pabellones que en individuos de Bahía Santa María. Con base a una valoración de varios metales en *C. corteziensis* de estos dos humedales costeros, se determinó que Ensenada Pabellones presenta mayores concentraciones de metales, entre ellos Pb, que en Bahía Santa María (Paez-Osuna et al. 2002). Otros estudios han encontrado altas concentraciones de Pb y Cd en organismos como bivalvos (Frías-Espericueta et al. 2009a, Frías Espericueta et al. 2010) crustáceos (Frías-Espericueta et al. 2009b) y aves acuáticas (Ruelas-Izunza 2001). Las elevadas concentraciones de Pb y otros metales en Ensenada Pabellones son consecuencia de la gran cantidad de fertilizantes y pesticidas utilizados en las tierras adyacentes a este humedal costero (Frías-Espericueta et al. 2009b).

---

Algunos estudios han utilizado a las plumas de las aves como tejido para distinguir sitios contaminados y sitios no contaminados con Pb, teniendo como resultado que las plumas de los individuos en los sitios contaminados tuvieron concentraciones de Pb más elevadas (Dauwe et al 200, Roodbergen et al. 2008, Hoff-Brait y Antoniosi-Filho 2011). Lo anterior indica que las concentraciones de Pb encontradas en las plumas de individuos de *Calidris mauri* de diferentes sitios de invierno son indicativas de su biodisponibilidad y del grado de contaminación existente por Pb en cada sitio.

---

### **10.5 Variaciones temporales en la concentración de metales pesados en plumas de *Calidris mauri*.**

Se encontraron variaciones temporales en las concentraciones de Pb en las plumas de *Calidris mauri* para ambas clases de edad tanto en la evaluación regional como en la de Sinaloa. En el caso del Zn solo se registraron diferencias en las plumas de los subadultos en ambas evaluaciones y de los adultos en la evaluación de Sinaloa, presentándose el Zn en más baja concentraciones en la temporada invernal 2009-2010 que en las demás temporadas invernales. Las concentraciones de Cd en las plumas fueron similares por temporadas invernales.

Lo anterior concuerda con lo dicho por Soto Jiménez y Russel Flegal (2009) quienes encontraron en su estudio que las concentraciones de Pb y su biodisponibilidad en el ambiente es menor con el paso del tiempo desde la prohibición de la utilización de la gasolina plomada de la cual aún quedan vestigios en el ambiente que poco a poco están desapareciendo. Además, este mismo autor menciona que las emisiones de Pb en Estados Unidos de América también ha disminuido en los últimos años, por lo que el transporte de Pb vía aérea desde los Estados Unidos también es menor año con año.

Además de lo anterior, los resultados de este trabajo también concuerdan con lo mencionado por Frias-Espicqueta et al. (2010) quienes aclaran que otra fuente importante de problemas sanitarios en Sinaloa causados por Pb son las pinturas residenciales que se utilizaron hasta la década de los 1970s, cuyos residuos en el ambiente todavía se consideran como fuentes importantes de riesgo tanto para la

---

salud humana como para el ambiente, pero que, como nos menciona Ruiz-Fernández et al. (2003a y 2003b), su biodisponibilidad en el ambiente está decayendo con el paso del tiempo.

Con respecto a las concentraciones de Zn, los niveles encontrados en la evaluación de subadultos nos indican una variación temporal en la biodisponibilidad de Zn en las zonas de reproducción de *Calidris mauri*. Existen pocos estudios respecto al Zn en el mundo, incluyendo las zonas de reproducción de *Calidris mauri*, por lo que este trabajo es el primer indicador de la variabilidad en la biodisponibilidad temporal del Zn en estas zonas.

En cuanto a Zn en las zonas de invierno, Green-Ruiz y Páez-Osuna (2001) mencionan que no existe un enriquecimiento de Zn en los sedimentos del complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, además de mantener una concentración que se caracteriza por una no contaminación por este metal en la zona por deposición principalmente de las descargas de los afluentes agrícolas del valle de Culiacán, Lo cual coincide con los resultados del presente estudio, observado en las concentraciones de Zn en individuos adultos de *Calidris mauri*.

---

## 11. CONCLUSIONES.

- Las plumas primarias y de pecho de adultos y subadultos de *Calidris mauri* presentaron concentraciones diferentes de Pb y Cd, lo que pudo deberse a que las plumas primarias se mudan primero y a su pigmentación más oscura que las plumas del pecho.
- Las concentraciones de metales pesados en las plumas *Calidris mauri* no fueron diferentes entre clases de edad. Es posible que los sitios de invierno y de reproducción, presenten una biodisponibilidad de metales similares. Además la movilización de metales pesados desde los órganos internos hacia las plumas al momento de la muda no es significativa para mostrar una bioacumulación en las plumas con respecto a la edad.
- Las concentraciones de metales pesados en las plumas de *Calidris mauri* no presentaron diferencias significativas entre sexos. A pesar del dimorfismo sexual de la especie, la dieta de hembras y machos es similar y por ende la concentración de metales pesados en las plumas también.
- En la evaluación Regional, las concentraciones de Pb en las plumas de *Calidris mauri* invernando en el Alto Golfo, presentaron concentraciones mayores a las encontradas en individuos invernando en el Huizache-Caimanero. Esto pudo deberse a que la mayor aportación de Pb proveniente de los Estados Unidos (por vías atmosféricas y de aguas

---

residuales acarreadas por el río Colorado) tiene mayor influencia sobre este sitio a comparación del sitio más sureño el Huizache Caimanero.

- En la evaluación de Sinaloa, los individuos invernando en Ensenada Pabellones tuvieron mayores concentraciones de Pb en sus plumas que las plumas de los individuos invernando en Santa María. Las mayores concentraciones en las plumas es consecuencia de que el complejo Lagunar Altata-Ensenada Pabellones presenta una mayor contaminación por metales pesados por las actividades agrícolas (uso de agroquímicos) del Valle de Culiacán.
- Las concentraciones de Pb en las plumas de individuos de *Calidris mauri* invernando en la temporada 2008-2009 presentaron concentraciones significativamente mayores a las plumas de los individuos invernando en las temporadas 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012, lo que pudo deberse a que las concentraciones de Pb provenientes de la gasolina plomada y pinturas residenciales que permanece aún en día en el ambiente y que van decayendo con el paso del tiempo, al igual que las emisiones de este metal en los Estados Unidos.
- No se encontraron diferencias en las concentraciones de Zn en las plumas de *Calidris mauri* entre clases de edad, sexos, sitios y temporadas invernales. Es posible que sea resultado de que el Zn es un meta esencial y es regulado por mecanismos homeostáticos en los organismos.

---

## 12. RECOMENDACIONES.

- Se sugiere tomar en cuenta el tipo de pluma para estudios futuros de monitoreo de metales pesados en aves en plumas.
- Se recomienda hacer énfasis en las concentraciones de Pb en la región de La Paz, Baja California, sitios de invernada importantes para *Calidris mauri*, para corroborar una contaminación en esta zona de estudio por este metal.
- Se sugiere realizar más estudios en cuanto a las concentraciones de Zn en las zonas de reproducción de *Calidris mauri* ya que los niveles de este metal en las plumas se presentan variaciones temporales.

---

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- Barbieri, E., E. De Andrade-Passos, A. Filippini, I. Souza-Dos Santos y A. Borges-García. 2010. Assesment of Trace Metal Concentration in Feathers of Seabird (*Larus dominicanus*) Sampled in the Florianopolis, SC, Brazilian Coast. *Environmental Monitoring and Assessment*. 169: 631-638.
- Bearhop, S., G. Ruxton y R. Furness. 2000. Dynamic of Mercury in Blood and Feathers of Great Skuas. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 19:1638-1643.
- Braune, B. y D. Noble. 2009. Environmental Contaminants in Canadian Shorebirds. *Environmental of Monitoring and Assessment*. 148: 188-204.
- Burger, J. 1995. Heavy Metal and Selenium in Feathers of Herring gulls (*Larus argentatus*): Differences Due to Year, Gender, and Age at Captree, Long Island. *Environmental Monitoring and Assessment*. 38: 37-50.
- Burger, J. y M. Gochfeld. 1992. Trace element Distribution in Growing Feathers: Additional Excretion in Feathers Sheaths. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 23: 105-108.
- Burger, J. 1996. Heavy Metals and Selenium in Feathers of Franklin's Gulls in Interior North America. *Auk*. 113: 189-198.
- Burger, J., G. Michale, C. Jeitner, S. Burke, C. Volz, R. Snigaroff, D. Snigaroff, T. Chukla, y S. Chukla. 2009. Mercury and Other Metals in Eggs and Feathers of Glaucous-winged gulls (*Larus glaucescens*) in the Aleutians. *Enviromental Monitoring and Assessment*. 152:179-194.

- 
- Burger, J., S. Seybold, N. Morganstein y K. Clark. 1993. Heavy Metals and Selenium in Feathers of Three Shorebird Species from Delaware Bay. *Environmental Monitoring and Assessment*. 28: 189-198.
- Burger, J., M. Pokras, R. Chafel y M. Gochfeld. 1994. Heavy Metal Concentration in Feathers of Common Loons (*Gavia immer*) in the Northeastern United States and Age Differences in Mercury Levels. *Environmental Monitoring and Assessment*. 30:1-7.
- Castellanos, A. y A. Ortega. 1995. Artificial Nesting Sites of Ospreys at Ojo de Liebre and Guerrero Negro Lagoons, Baja California Sur, México. *Journal of Field Ornithology*. 66: 117-127.
- Cruz-Acevedo, E. 2003. Evaluación de Posibles Efectos de contaminantes sobre la condición Biológica de *Calidris mauri* (Scolopacidae) durante la Temporada no Reproductiva en Sinaloa. (Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias). Mazatlán Sinaloa. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología.
- Cuizano, N. y A. Navarro. 2008. Biosorción de Metales Pesados por Algas Marinas: Posible Solución a la Contaminación a Bajas Concentraciones. *Química y Medio Ambiente*. 104: 120-125.
- Daesslé, L., K. Lugo-Ibarra, H. Tobschall, M. Melo, E. Gutierrez-Galindo, J. García-Hernandez y L. Álvarez. 2009. Accumulation of As, Pb, and Cu Associated with the Recent Sedimentary Processes in the Colorado Delta, south of the United States-México Boundary. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology*. 56: 680-692.

- 
- Dauwe, T., L. Bervoets, R. Blust, R. Pinxten y M. Eens. 2000. Can Excrement and Feathers of Nestling Songbirds Be Used as Biomonitors for Heavy Metal Pollution?. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 39: 541-546.
- Dauwe, T., L. Bervoets, R. Pinxten, R. Clust, y M. Eens. 2003. Variation of Heavy Metals Within and Among Feathers of Birds of Prey: Effects of Molt and External Contamination. *Environmental Pollution*. 124: 429-436.
- De la Lanza, G. y J. García. 1991. Sistema Lagunar Huizache y Caimanero, Sin., un Estudio Socio Ambiental, Pesquero y Acuícola. *Hidrobiológica*. 1: 2-35.
- Dmowski, K., F. Gast, P. Muller y G. Wagner. 1984. Variability of Cadmium and Lead Concentrations in Bird Feathers. *Naturwissenschaften* 71: 639–640.
- Engilis, A., L. Oring, E. Carrera, J. Nelson y A. Martinez. 1998. Shorebird Survey in Ensenada Pabellones and Bahía Santa Maria, Sinaloa, México: Critical Winter Habitats for Pacific Flyway Shorebirds. *Wilson Bulletin*. 10: 332-341.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2009. Data from the National Emissions Inventory, Version 2.0. Accessed 2009
- Fernández, G. y D. Lank. 2008. Foraging Behavior of Non-breeding Western Sandpiper *Calidris mauri* as a Function of Sex, Habitat and Flocking. *Ibis*. 150: 518-526.
- Fernández, G., P. O'Hara, y D. Lank. 2004. Tropical and Subtropical Western Sandpiper (*Calidris mauri*) Differ in Life History Strategies. *Ornitología Neotropical*. 15: 385-394.
- Franks, S., D. Lank, D. Norris, B. Sandercock, C. Taylor y T. Kyser. 2009. Feather Isotope Analysis discriminates Age-Classes of Western, Least and

- 
- Semipalmated Sandpipers When plumage Methods are Unreliable. *Journal of Field Ornithology*. 80: 51-63
- Franks, S., D. Norris, T. Kyser, G. Fernandez, B. Schwarz, R. Carmona, M. Colwell, J. Correa, A. Dondua, H. Gates, B. Haase, D. Hodkinson, A. Jimenez, R. Lanctot, B. Ortego, B. Sandercock, F. Sanders, J. Yakekawa, N. Warnock, R. Ydenberg, y D. Lank. 2012. Range-Wide Patterns of Migratory Connectivity in the Western Sandpiper *Calidris mauri*. *Journal of Avian Biology*. 43: 1-13.
- Frías-Espéricueta, M., J. Osuna-López, P. López-Saenz, G. López-López y G. Izaguirre-Fierro. 2004. Heavy Metals in Surface Sediments from Huizache-Caimanero Lagoon. Northwest Coast of México. *Bulletin of Environmental Contaminants and Toxicology*. 73: 749-755.
- Frías-Espéricueta, M., J. Osuna-López, I. Bañuelos-Vargas, G. López-López, M. Rangel, G. Izaguirre-Fierro, W. Rubio-Carrasco, P. Meza-Guerrero y D. Voltolina. 2009a. Cadmium, Copper, Lead and Zinc Content of the Mangrove Oyster *Crassostrea corteziensis* of Seven Coastal Lagoons of NW Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 83: 595-599.
- Frías-Espéricueta, M., J. Osuna-López, D. Voltolina, M. Beltrán-Velarde, G. Izaguirre-Fierro, G. López-López, M. Muy-Rangel y W. Rubio-Carrasco. 2009b. The Content of Cd, Cu, Pb and Zn of the White Shrimp *Litopenaeus vannamei* of Six Coastal Lagoons of Sinaloa, NW Mexico. *Biología Mariana y Oceanografía*. 44: 197-201.

- 
- Frias-Espéricueta, M., J. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro, M. Aguilar-Juárez y D. Voltolina. 2010. Cadmio y Plomo en Organismos de Importancia Comercial de la Zona Costera de Sinaloa, México: 20 Años de Estudio. *CICIMAR Oceanías*. 25: 121-134.
- Fosmire, G. 1990. Zinc Toxicity. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 51: 225-227.
- Furtness, R. y Ph. Rainbow. 1990. *Heavy metals in the Marine Environment*. CRC Press.. 241pp.
- Galindo-Espinosa, D. 2003. *Uso de dos Humedales, Dulceacuícola y Costero, Por Calidris mauri (Charadriiformes: Scolopacidae) al Sur de la Península de Baja California, México*. (Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias) La Paz, B.C.S. Instituto Politécnico Nacional.
- Gochfeld, M., J. Saliva, F. Lesser, T. Schukla, D. Bertrand y J. Burger. 1991. Effect of Color on Cadmium and Lead Levels in Avian Contour Feathers. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 20: 523-526.
- Goede, A., M. De Bruin. 1984. The Use of Bird Feather Parts as a Monitor for Metal Pollution. *Environmental Pollution*. 8: 281-298.
- Golden, N., B. Rattner, J. Cohen, D. Hoffman, E. Russek-Cohen y M. Ottinger. 2003. Lead Accumulation in Feathers of Nestling Black-Crowned Night Herons (*Nycticorax nycticorax*) Experimentally Treated in the Field. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 22: 1517-1524.
- Green-Ruiz, C. y F. Páez-Osuna. 2001. Heavy metal anomalies in lagoon sediments related to intensive agriculture in Altata-Ensenada del Pabellón

- 
- coastal system (SE Gulf of California). *Environmental International*. 26: 265-273.
- Hargreaves, A., D. Witheside y G. Gilchrist. 2010. Concentration of 17 Elements, Including Mercury, and Their Relationship to Fitness Measures in Artic Shorebirds and Their Eggs. *Science of the Total Environment*. 10: 10-16.
- Hargreaves, A., D. Witheside y G. Gilchrist. 2011. Concentration of 17 Elements, Including Mercury, in the Tissues, Food, and Abiotic Environment of Artic Shorebirds. *Science of Total Environment*. 409: 3957-3770.
- Hermoso, M., F. Rodríguez, D. Fernández, M. Gallego, A. López y M. Pérez. 2006. Estudio Comparativo del Nivel Hepático de Metales Pesados y Metaloides en Aves Rapaces Diurnas de Galicia y Extremadura. *Toxicología*. 23: 138-145.
- Hiller, B. y J. Barclay. 2011. Concentration of Heavy Metals in American Woodcock Harvested in Connecticut. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 60: 156-164.
- Hoff-Brait, C. y N. Antoniosi-Filho. 2011. Use of Feathers of Feral pigeons (*Columba livia*) as a technique for Metal Quantification and Environmental Monitoring. *Environmental Monitoring and Assessment*. 179: 457-467.
- Howell, S. Molt in North American Birds. 2010. Peterson Field guide Series. 136-146pp.
- Hui, C., J. Takekawa y S. Warnock. 2000. Contaminant Profiles of Two Species of Shorebirds Foraging Together at Two Neighboring Sites in South San Francisco Bay, California. *Environmental Monitoring and Assessment*. 71: 107-121.

- 
- Johnson, M. 2006. Demography and Behavior of Western Sandpiper (*Calidris mauri*) Breeding on the Yukon-Kuskokwin River Delta, Alaska (Tesis para obtener el grado de doctor en ciencias). Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Kidd, M., P. Ferket y M. Qureshi. 1996. Zinc Metabolism with Special Reference to its Role in Immunity. *World's Poultry Science Journal*. 52: 310-324.
- Kim, J., y T. Koo. 2008. Heavy Metals Concentration in Feathers of Korean Shorebirds. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 55: 122-128.
- Kim, J., H. Lee y T. Koo. 2009. Heavy Metal Concentration in Three Shorebird Species from Okgu Mudflat, Gunsan, Korea. *Ecotoxicology*.
- Kim, J., S. Park y T. Koo. 2007. Trace Elements and Pollutants Concentration in Shorebirds from Yeongjong Island, Korea in the East Asian-Australian Migration Fly Ways. *Ecotoxicology*. 16: 403-410.
- Kim, J., y J. Oh. 2012. Monitoring of Heavy Metal Contamination Using Feathers of Shorebirds, Korea. *Journal of Environmental Monitoring*. 14: 651-656.
- Kuwae, T., P. Beninger, P. Decottignies, K. Mathot, D. Lund y R. Elner. 2008. Biofilm Grazing in a Higher Vertebrate: The Western Sandpiper, *Calidris mauri*. *Ecology*, 89: 599-606.
- Lucia, M., P. Brocher, R. Cosson, C. Churlaud y P. Bustamante. 2012. Evidence for Specie-Specific Detoxification Processes for Trace Elements in Shorebirds. *Ecotoxicology*. 21: 2349-2362.

- 
- Lucia, M., P. Bocher, M. Chambosse, P. Delaporte y P. Bustamante. 2013. Trace Element Accumulation in Relation to Trophic Niches of Shorebirds Using Intertidal Mudflats. *Journal of Sea Research*.
- Luecke, D., J. Pitt, C. Congdon, E. Glenn, C. Valdés-Casillas y M Briggs. 1999. *Delta Once More: Restoring Riparian and Wetland Habitat in the Colorado River Delta*. D.C. Environmental Defense Publications.
- Macías-Zamora, J., J. Sánchez-Osorio, L. Ríos-Mendoza, N. Ramírez-Álvarez, M. Huerta-Díaz y D. López-Sánchez. 2008. Trace Metals in Sediments and *Zostera marina* of San Ignacio and Ojo de Liebre Lagoon in the Central Pacific Coast of Baja California, México. *Archives of Environmental Contaminants and Toxicology*. 55: 218-228.
- MaGinley, S. 2009. Evaluation Contaminant in Colorado River Water, Lead and Uranium Levels are Focus of Study. The Arizona Agricultural Experiment Station Research Report. 18-20.
- Mathot, K. y R. Elner. 2004. Evidence for Sexual Partitioning of Foraging Mode in Western Sandpiper (*Calidris mauri*) During Migration. *Canadian Journal of Zoology*. 82: 1035-1042.
- Mathot, K., D. Lund y R. Elner. 2010. Sediments in Stomach contents of Western Sandpiper and Dunlin Provide Evidence of Biofilm Feeding. *Waterbirds*. 33: 300-306.
- Mance, G. 1987. *Pollution Threat of Heavy Metals in Aquatic Environments*. Elsevier applied science. England. 386pp
- Mansouri, B., H. Barbieri y E. Hoshyari. 2011. Heavy Metals Contamination in Feathers of Western Reef Heron (*Egretta gularis*) and Siberian Gull (*Larus*

- 
- heuglini*) from Hara Biosphere Reserve of Southern Iran. Environmental Monitoring and Assessment. 184: 6139-6145.
- Martínez, A., D. Crespo, A. Fernández, J. Aboal y A. Caralleira. 2012. Selection of Flight Feathers from *Buteo buteo* and *Accipiter gentilis* for Use in Biomonitoring Heavy Metal Contamination. Science of the Total Environment. 425: 254-261.
- McFarland, C., L. Bendell-Young, C. Guglielmo y T. Williams. 2002. Kidney, Liver and Bone Cadmium Content in the Western Sandpiper in Relation to Migration. Journal of Environment Monitoring. 4: 791-795.
- Méndez, L., E. Palacios, B. Acosta, P. Monsalvo-Spencer y T. Álvarez-Castañeda. 2006. Heavy Metals in the Clam *Megapitaria squalida* Collected from Wild and Phosphorite Mine-Impacted Sites in Baja California, México: Consideration for Human Health Effects. Biological Trace Elements Research. 110: 275-287.
- Ming, H. 2005 Environmental Toxicology, Biological and Health Effects of Pollutants. 2º edición. CRC Pres. EUA. pp.27-28.
- Monteiro, L., J. Granadeiro y R. Furness. 1998. Relationship Between Mercury Levels and Diet in Azores Seabirds. Marine Ecology Progress Series. 166: 259-265.
- Montes de Oca, J., V. Velázquez, R. Rosiles y R. López. 1996. Niveles de Metales Pesados en Hígado de Aves Acuáticas Migratorias Capturadas en la Laguna del Valle de Lerma, Estado de México. Veterinaria México. 27: 249-251.

- 
- Moody, J. y R. Lindstrom, 1977. Selection and Cleaning of Plastic Containers for Storage of Trace Elements Samples. *Analytical Chemistry*. 14: 2264-2267.
- Moreno, R., L. Jover, C. Diez y C. Sanpera. 2011. Seabird Feathers as Monitor of the Levels and Persistence of Heavy Metal Pollution after the Prestige Oil Spill. *Environmental Pollution*. 159: 2454-2460.
- Nebel, S., D. Jackson y R. Elner. 2005. Functional Association of Bill Morphology and Foraging Behavior in Calidrid Sandpiper. *Animal Biology*. 55: 335-343.
- Niecke, M., M. Heid y A Kruger. 1999. Correlations Between Melanin Pigmentation and Element Concentration in Feathers of White-Tailed Eagles (*Haliaeetus albicilla*). *Journal für Ornithologie* 140: 355–362.
- Norouzi, M. y B. Mansouri. 2012. Comparison of the Metal Concentration in the Feathers of Three Bird Species from Southern Iran. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 89: 1082-1086.
- Norris, D., D. Lank, J. Pither, D. Chipley, R. Ydenberg y T. Kayser. 2007. Trace Element Profiles as Unique Identifiers of Western Sandpiper (*Calidris mauri*) population. *Canadian Journal of Zoology*. 85: 579-58.
- O'Hara, P., D. Lank y F. Delgado. 2002. Is the Timing of Molt Altered by Migration? Evidence from a Comparison of Age and Residency Classes of Western Sandpiper *Calidris mauri* in Panamá. *Ardea*. 90: 61-70.
- Páez-Osuna, F., A. Ruiz-Fernández, A. Botello, G. Ponce-Vélez, J. Osuna-López, M. Frías-Espéricueta, G. López-López y H. Zazueta-Padilla. 2002. Concentration of Selected Trace Metals (Cu, Pb, Zn), Organochlorines (PCBs, HCB) and Total PAHs in Mangrove Oysters from the Pacific Coast of México: an overview. *Marine Pollution Bulletin* 44: 1296-1313.

- 
- Page, G. y B. Fearis 1971. Sexing Western Sandpiper by Bill Length. *Bird Banding* 4: 82-88.
- Pain, D., A. Meharg, M. Ferrer, M. Taggart y V. Penteriani. 2005. Lead Concentration in Bones and Feathers of the Globally Threatened Spanish Imperial Eagle. *Biological Conservation*. 121: 603-610.
- Pérez-López, M., F. Cid-Galán, D. Hernández-Moreno, A. Oropesa-Jiménez, A. López-Beceiro, L. Fidalgo-Álvarez y F. Soler-Rodríguez. 2005. Contenido de Metales Pesados en Hígado y Plumas de Aves Marinas Afectadas por el Accidente del "Prestige" en la Costa de Galicia. *Toxicología*. 22: 191-199.
- Pilastro, A., L. Congiu, L. Tailandini, y M. Turchetto. 1993. The Use of Bird Feathers for the Monitoring of Cadmium Pollution. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 24: 355-358.
- Qian-Qian, G., J. Zhi-Ming y Z. Hong-Fei. 2012. Concentration of Copper, Zinc and Manganese in Tree Sparrow (*Passer montanus*) at Jixi, Heilongjiang Province, China. *Journal of Forestry Research*. 23: 319-322.
- Rainbow, P. 1995. Biomonitoring of Heavy Metal Availability in the Marine Environment. *Marine Pollution Bulletin*. 31:183-192.
- Ramsar. 2012. Lista de Humedales de Importancia Internacional. México. Acceso: <http://www.ramsar.org>.
- Roodbergen, M., C. Klok y A. Van del Hout. 2008. Transfer of Heavy Metals in Food Chain, Earthworm Black-Tailed Godwit (*Limosa limosa*); Comparison of Polluted and a Reference Site in the Netherlands. *Science of the Total Environment*. 406: 407-412.

- 
- Ruelas-Izunza, J. y F. Páez-Osuna. 2007. Trophic distribution of Cd, Pb y Zn in a Food Web from Altata-Ensenada del Pabellón Subtropical Lagoon, SE Gulf of California. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 54: 584-596.
- Ruelas-Inzuza, J. 2001. Concentración y distribución de metales pesados en tejidos de organismos representativos del Bajo Golfo de California y áreas adyacentes: Fauna y Flora. (Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias del Mar). Postgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Unidad Académica Mazatlán, Sinaloa, 211 pp.
- Ruiz-Fernández, A., C. Hillaire-Marcel, F. Páez-Osuna, B. Ghaleb, M. Soto-Jiménez. 2003a. Historical Trends of Metals Pollution Recorded in the Sediments of the Culiacan River Estuary, Northwestern México. *Applied Geochemistry*. 18: 577-588.
- Ruiz-Fernández, A., F. Páez-Osuna, M. Soto-Jiménez, C. Hillaire-Marcel y B. Ghaleb. 2003b. The Loading History of Trace Metals and Nutrients on Altata-Ensenada del Pabellón, Lagoon Complex, Northwestern México. *Journal of Environmental Radioactivity*. 69: 129-143.
- Ruiz-Fernández, A., M. Frignani, C. Hillaire-Marcel, B. Ghaleb, M. Arvizu, J. Raygoza-Viera y F. Paez-Osuna. 2009. Trace Metals (Cd, Cu, and Hg y Pb) Accumulation Recorded in the Intertidal Mudflat Sediments of Three Costal Lagoons in the Gulf of California, Mexico. *Estuaries and Coast*. 52: 551-564.

- 
- Salamanca, M y B. Jara. 2003. Distribución y Acumulación de Plomo (Pb y <sup>210</sup>Pb) en Sedimentos de los Fiordos en la XI Región, Chile. *Ciencia y Tecnología del Mar*. 26: 61-7.
- Sandercock, B., D. Lank, R. Lanctot, B. Kempenaers y F. Cooke. 2000. Ecological Correlates of Mate Fidelity in Two Arctic-Breeding Sandpipers. *Canadian Journal Zoology*. 78: 1948-1958.
- Soto-Jiménez, M., F. Páez-Osuna, G. Scelfo, S. Hibdonb, R. Franks, J. Aggarawl y A. Russell Flegal. 2008. Lead Pollution in Subtropical Ecosystems on the SE Gulf of California Coast: A Study of Concentrations and Isotopic Composition. *Marine Environmental Research*. 66: 451-458.
- Soto-Jimenez, M. y A. Russell-Flegal. 2009. Origin of Lead in the Gulf of California Ecoregion Using Stable Isotope Analysis. *Journal of Chemical Exploration*. 101: 209-1017.
- Stock, M., R. Herber y H. Geron. 1989. Cadmium Levels in Oystercatcher *Haematopus ostralegus* From the German Wadden Sea. *Marine Ecology Progress Series*. 53: 227-234.
- Strum, K., M. Hooper, K. Johnson, R. Lanctot, E. Zaccagnini y B. Sandercock. 2010. Exposure of Nonbreeding Migratory Shorebirds to Cholinesterase Inhibiting Contaminants in the Western Hemisphere. 2010. *Condor*. 112: 15-28.
- Walker, C. 2009. *Organic Pollutants, An Ecotoxicological Perspective*. 2º Edición. CRC Press. E. U. A. pp163-180.
- Western Hemisphere Shorebird Reserve Network. 2012. Western hemisphere reserve network site. Acceso: <http://www.whsrn.org>

- 
- Wilson, W. 1994. Western Sandpiper (*Calidris mauri*). The Birds of North America, no. 90. Academy of Natural Sciences, Philadelphia, and American Ornithologists' Union, Washington, D.C.
- Yigit, A., M. Cinar y E. Yildirim. 2012. The Effects of Levamisole on Oxidative Stress induced by Copper Intoxication in Broilers. New Zealand Veterinary Journal. 60: 273-277.
- Zhang, W. y J. Ma. 2011. Waterbirds as Bioindicators of Wetland Heavy Metal Pollution. Procedia Environmental Science. 10: 2769-2774.