

03096



Posgrado en
Ciencias del Mar
y Limnología

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



UN/M
POSGRADO

Ciencias del Mar y
Limnología

**Concentración y distribución de mercurio en tejidos de nueve especies
de aves acuáticas migratorias y residentes, recolectadas
en la costa de Sinaloa**

T E S I S

Para obtener el grado de:
**Maestro en Ciencias
(Química Acuática)**

P R E S E N T A

José Rigoberto Raygoza Viera

Director de tesis: Dr. Federico Páez Osuna

Comité tutorial:

**Dra. Ma. del Coro Arizmendi Arriaga
Dra. Ma. Esther de la Rosa Duque
Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández
Dr. Javier Alcocer Durand**

Noviembre de 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Tesis realizada en laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Mazatlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna y asesorías de la Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández, la Dra. María del Coro Arizmendi Arriaga, la Dra. María Esther de la Rosa Duque y el Dr. Javier Alcocer Durand y la colaboración del Quím. Humberto Bojórquez Leyva, Biol. Armando Calderón Rodríguez y el Biol. César Pompeyo Sánchez Cañedo.

DEDICATORIA

A mis padres, Julia y José, mis hermanas (Félix, Carmen a su esposo Andrew y su pegoste), que han sido un motivo desde siempre para hacer posible este logro de gran importancia para mí, a ellos con gratitud y cariño en cada paso que doy .

A mi esposa de manera especial como una ofrenda a el amor que le tengo.

A Federico Páez con admiración y respeto, a quién considero una guía importante en el quehacer profesional y claro ejemplo de humanidad y trabajo.

A los amigos y compañeros del Instituto.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su enorme apoyo permanente (Papás, hermanas, cuñados, suegros, mi prima Tere, su mamá, a mi querida tía Lulú, sus hijos, nietos, mi tío Rigo y toda la prole) que siempre tengo en mi pensamiento.

A mi esposa especialmente por su gran ayuda, comprensión, amor, cariño y tantas cosas que me dan fuerza y motivación en la vida diaria para lograr vencer los retos.

A Federico Páez por su confianza y gran apoyo, gratitud que sería difícil de manifestar en dos simples líneas.

A mis compañeros y amigos del Instituto: Daniela, Armando, Dilian, Karla, Zaira, Alejandra, Alejandro, Víctor, Karina, Manuel, César, Martín, Fabiola, Rebeca, Roberto, Jorge y todos aquellos con los que pasé momentos inolvidables.

A Carolina Ruiz por su apoyo y amistad, por quién siento una gran admiración y respeto.

A la Dra. Esther de la Rosa, Dra. María del Coro y el Dr. Javier por sus observaciones que fueron de singular importancia en la realización de este trabajo.

A Humberto Bojórquez por su instrucción, amistad y apoyo brindado en mi estancia en el laboratorio.

A Clarita y Pedro por las facilidades otorgadas en la recopilación de información.

A Germán, Rosalba, Carlos, Natalia y Magali por el apoyo y las facilidades para la realización de trámites e impresión de este trabajo.

A Dios por la oportunidad de vivir y permitirme estar cerca de ellos.

¡Un millón de gracias a todos!

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 El Mercurio	3
1.2 Las aves	5
1.2.1 Hábitos migratorios de las aves	5
1.2.2 Aves acuáticas migratorias	7
1.2.3 Aves en México	8
1.4 Biomonitorio de metales pesados	10
2. ANTECEDENTES	13
2.1 Estudios sobre el mercurio	13
2.2 Estudios de metales pesados en aves	14
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
4. OBJETIVOS	22
4.1 Objetivo general	22
4.1 Objetivos particulares	22
5. HIPOTESIS	23
6. ÁREA DE ESTUDIO	25
6.1 Sistema Litoral Majahual	26
6.2 Huizache-Caimanero	27
6.3 Altata-Ensenada del Pabellón	27
6.4 Bahía Santa María-La Reforma	28
6.5 Navachiste-San Ignacio-Macapule	30
6.6 Topolobampo-Ohuira	30
7. METODOLOGÍA	34
7.1 Limpieza y preparación del material del laboratorio	34
7.2 Recolección de organismos	34
7.3 Medición del peso	35
7.4 Disección de aves	36
7.5 Preparación de las muestras	37
7.6 Análisis de las muestras	37
7.7 Precisión y exactitud del análisis	38
7.8 Cálculos de la concentración de mercurio en los distintos tejidos	39
7.9 Análisis estadístico	39

CONTINUACIÓN (CONTENIDO)...

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
8.1 Procedencia y aspectos biológicos de las aves capturadas	41
8.2 Confiabilidad y calidad analítica	42
8.3 Distribución de mercurio en los diferentes tejidos	47
8.4 Niveles de concentración de Hg según el sexo de las aves	58
8.5 Concentración de Hg según el área de recolección de las aves	65
8.6 Concentración de Hg en aves acuáticas según la época de captura	68
8.7 Correlaciones entre los distintos tejidos estudiados	74
8.8 Comparación de los niveles de concentración de Hg entre especies	91
8.9 Comparación con otros estudios	106
9. CONCLUSIONES	117
10. LITERATURA CITADA	123
11. ANEXO 1	140

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Condiciones de operación del equipo de digestión por microondas.	39
Tabla 2. Aves acuáticas colectadas durante la época de arribo (noviembre y diciembre de 2001) en la costa de Sinaloa.	43
Tabla 3. Aves colectadas durante la época de partida (febrero y marzo de 2002) en las costas de Sinaloa.	44
Tabla 4. Pesos comunes en adultos de las especies de aves.	45
Tabla 5. Matriz de correlación entre los niveles de concentración de Hg de los distintos tejidos de las aves estudiadas (los valores de r presentados son significativos a $p < 0.05$).	74
Tabla 6. Concentraciones promedio de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en plumas.	93
Tabla 7. Concentraciones promedio de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en hígados.	95
Tabla 8. Concentraciones promedio de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en músculo.	96
Tabla 9. Concentraciones promedio de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en molleja.	97
Tabla 10. Concentraciones promedio de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en sangre.	98
Tabla 11. Concentraciones promedio de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en vísceras.	101
Tabla 12. Concentraciones promedio de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en corazón.	102
Tabla 13. Hábitos alimenticios (de acuerdo al tipo de alimento encontrado en los contenidos estomacales y especificado en la literatura), forma de alimentarse y residencialidad de las aves estudiadas.	105
Tabla 14. Concentración de mercurio (promedio \pm desviación estándar) en aves acuáticas migratorias (Angulo-García, 2002) y residentes (Arvizu-Merín, 2003), capturadas en el complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa.	108
Tabla 15. Concentración de mercurio en plumas de distintas aves acuáticas de diferentes localidades.	110
Tabla 16. Niveles de concentración de mercurio en el hígado de distintas aves acuáticas de diferentes localidades.	113
Tabla 17. Niveles de concentración promedio (\pm desviación estándar) de mercurio en músculo y sangre de distintas aves acuáticas de diferentes localidades.	115

ANEXO 1

Tabla 1. Concentración promedio de Mercurio en las aves capturadas y comparaciones estadísticas entre los distintos tejidos estudiados.	141
Tabla 2. Concentración promedio de Hg (\pm desviación estándar, mínimo y máximo) en los distintos tejidos de las especies estudiadas según el sexo.	144
Tabla 3. Concentración promedio de Mercurio (\pm D E, mínimo y máximo) según la zona de captura Norte (N) y Sur (S) de las costas de Sinaloa, en tejidos de las distintas especies.	147
Tabla 4. Concentración (ng Hg/g), según la época de captura. A., época de arribo y P., partida de las aves acuáticas migratorias de las costas de Sinaloa.	150

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rutas Migratorias desde el Norte de América hasta México (DUMAC, 2000).	9
Figura 2. Zona costera del estado de Sinaloa (Esteros y Lagunas Interiores).	32
Figura 3. Diagrama de Flujo para la preparación de las muestras y el análisis de Hg de los distintos tejidos.	35
Figura 4a. Concentración de Hg, en tejidos de <i>A. clypeata</i> , <i>A. creca</i> y <i>A. discors</i> . El cuadro relleno indica el promedio, el cuadro más grande sin relleno el error estándar y las líneas extendidas en forma de T representan la desviación estándar.	55
Figura 4b. Concentración de Hg, en tejidos de <i>A. acuta</i> , <i>A. cyanópetera</i> y <i>A. americana</i> . El cuadro relleno indica el promedio, el cuadro más grande sin relleno el error estándar y las líneas extendidas en forma de T representan la desviación estándar.	56
Figura 4c. Concentración de Hg, en tejidos de <i>A. affinis</i> , <i>D. autumnalis</i> y <i>P. brasilianus</i> . El cuadro relleno indica el promedio, el cuadro más grande sin relleno el error estándar y las líneas extendidas en forma de T representan la desviación estándar.	57
Figura 5. Comparación de la concentración de los distintos tejidos entre sexos en <i>A. creca</i> , <i>A. cyanoptera</i> y <i>A. affinis</i> (* representa las diferencias significativas).	63
Figura 6. Promedios y desviación estándar de la concentración (ng de Hg/g) del mercurio en el pato cerceta aliazul. * Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) en un mismo tejido entre las dos épocas de captura.	66
Figura 7a. Promedio y desviación de la concentración de Hg, según la época (arribo y partida) en <i>A. discors</i> y <i>A. creca</i> . * Presenta diferencia significativa a $p < 0.05$.	71
Figura 7b. Promedio y desviación de la concentración de Hg, según la época (arribo y partida) en <i>A. cyanoptera</i> y <i>A. americana</i> . * Presenta diferencia significativa a $p < 0.05$.	72
Figura 7c. Promedio y desviación de la concentración de Hg, según la época (arribo y partida) en <i>A. acuta</i> . * Presenta diferencia significativa a $p < 0.05$.	73
Figura 8a. Gráficas de correlación de concentración de Hg entre distintos tejidos en <i>A. clypeata</i> (línea de tendencia y ecuación de la recta).	82
Figura 8b. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre tejidos de <i>A. clypeata</i> y <i>A. creca</i> (línea de tendencia y ecuación de la recta).	83
Figura 8c. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre tejidos de <i>A. creca</i> y <i>A. discors</i> (línea de tendencia y ecuación de la recta).	84
Figura 8d. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre distintos tejidos de <i>A. discors</i> (línea de tendencia y ecuación de la recta).	85
Figura 8e. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre tejidos distintos de <i>A. discors</i> y <i>A. acuta</i> (línea de tendencia y ecuación de la recta).	86

CONTINUACIÓN (INDICE DE FIGURAS)

Figura 8f. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre tejidos de <i>A. acuta</i> y <i>A. cyanoptera</i> (línea de tendencia y ecuación de la recta).	87
Figura 8g. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre distintos tejidos de <i>A. cyanoptera</i> (línea de tendencia y ecuación de la recta).	88
Figura 8h. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre distintos tejidos de <i>A. cyanoptera</i> y <i>A. americana</i> (línea de tendencia y ecuación de la recta).	89
Figura 8i. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre distintos tejidos de <i>A. americana</i> (línea de tendencia y ecuación de la recta).	90

RESUMEN

Se examinaron 1344 muestras de tejidos de 9 especies de aves acuáticas residentes y migratorias de la costa de Sinaloa, con el objeto de determinar la concentración y distribución de Hg en dichos organismos. Se sacrificaron un total de 96 aves entre noviembre y diciembre de 2001 (justo después del arribo a las costas de Sinaloa) y 114 en febrero de 2002 (antes de la partida de las costas de Sinaloa a Norteamérica). Se obtuvo el peso total de cada individuo y se disectaron los tejidos (plumas, hígado, músculo, molleja, sangre, vísceras y corazón), posteriormente se liofilizaron por 72 horas a $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 133×10^{-3} mBar, luego se molieron en un mortero de ágata. Las plumas por su parte, se lavaron con hexano y se secaron a temperatura ambiente. Posteriormente, se digirió cada muestra en un equipo de microondas con HNO_3 concentrado y se determinó la concentración de Hg en un equipo analizador (Buck Scientific). En la mayoría de las especies analizadas las concentraciones promedio (\pm desviación estándar) de mercurio más altas se presentaron en el hígado (*A. clypeata*, 2885 ± 1846 ng/g; *A. crecca*, 1172 ± 1042 ng/g; *A. discors*, 2127 ± 857 ng/g; *A. acuta*, 1756 ± 3305 ng/g; *A. americana*, 1229 ± 1430 ng/g; *A. affinis* 2472 ± 1949 ng/g y *P. brasiliensis* 4052 ± 2135 ng/g), a excepción de la pichigüilla y la cerceta café (*D. autumnalis* y *A. cyanoptera*) que presentaron la mayor concentración en plumas (289 ± 264 y 1452 ± 952 ng/g, respectivamente). Por otro lado, la concentración promedio (\pm desviación estándar) de Hg más baja se presentó en las vísceras en *A. clypeata* (585 ± 329 ng/g), *A. discors* (590 ± 429 ng/g), *A. acuta* (316 ± 582 ng/g), y *P. brasiliensis* (1041 ± 175 ng/g), en otras especies fue en el músculo (*A. crecca*, 319 ± 247 ng/g, y *D. autumnalis*, 46 ± 33 ng/g). En *A. cyanoptera* así como en *A. americana* el tejido donde acumularon menos mercurio fue el corazón (325 ± 557 y 373 ± 507 ng/g) y en *A. affinis* por su parte en la Molleja (493 ng de Hg/g). En el músculo, la molleja y la sangre en *A. crecca* y en el músculo de *A. affinis* de las hembras se presentaron niveles significativamente más altos de Hg que en los machos, lo cual puede estar probablemente asociado a la pérdida de peso de las aves durante el desplazamiento migratorio, sin embargo, en el corazón de los machos en *A. cyanoptera* se presenta mayor concentración de Hg que en las hembras debido probablemente a que los machos capturados de esta especie se encontraban aún en su etapa juvenil, no obstante, en el resto de las especies no se presentan diferencias en la acumulación de mercurio según el sexo. Se llevó a cabo una comparación entre las aves

capturadas en la zona norte de la costa de Sinaloa y la zona sur, no encontrando diferencias significativas en la mayoría de las especies, aunque en *A. discors* se presenta cierta tendencia a acumular más mercurio en la zona norte, lo cual se puede asociar a un mayor desarrollo agrícola e industrial en esta zona con respecto al Sur de Sinaloa. Al comparar los niveles de concentración de mercurio entre las aves capturadas en el arribo a las costas de Sinaloa contra las aves capturadas en la partida, se pudo notar que *A. crecca*, *A. acuta*, *A. americana*, *A. discors* y *A. cyanoptera* presentaron los niveles de concentración de Hg más altos en la mayoría de los tejidos en la época de partida, evidenciando un mayor grado de exposición al Hg en las zonas a donde migran en invierno estas aves. Alternativamente, esto se puede atribuir a un factor interno que tiene que ver con la ganancia y pérdida de peso antes y durante el vuelo de migración de estas aves. Por otro lado, se encontraron correlaciones significativas entre la mayoría de los tejidos en las aves estudiadas, asimismo se sugiere que la sangre puede ser de gran utilidad para evitar el sacrificio de estos organismos debido a que presentó correlaciones significativas con el resto de los tejidos en la totalidad de las especies estudiadas. Por su parte, la especie que más mercurio acumuló fue el cormorán, debido principalmente a sus hábitos alimenticios, ya que se trata de una ave piscívora, por lo que se expone a mayores concentraciones de Hg por la vía alimenticia comparada con el resto de las aves. Por otra parte, la especie que acumuló menos mercurio fue la pichigüila que al contrario del cormorán se expone a concentraciones más bajas de este metal debido a que su alimentación preferencial son plantas, semillas y granos. Asimismo, es posible generalizar que los niveles de exposición del hígado, las plumas, el músculo y la sangre de las aves estudiadas en este trabajo son similares o más bajos que los encontrados en otros estudios realizados en otras partes del mundo.

1. INTRODUCCION

Los metales pesados son elementos que se encuentran presentes naturalmente en la corteza terrestre y formando parte de los seres vivos. Son elementos que en la tabla periódica se identifican como metales y metaloides, poseen una densidad superior a 5 g/cm³. De tal manera que bajo la denominación de metales pesados, aunque considerado como un término ambiguo, es asociado a problemas de contaminación y toxicidad, son identificados elementos tales como la plata (Ag), el cadmio (Cd), el cobalto (Co), el cromo (Cr), el cobre (Cu), el mercurio (Hg), el plomo (Pb), el molibdeno (Mo), el antimonio (Sb), el vanadio (V), el níquel (Ni) y el zinc (Zn) (Páez-Osuna, 1996).

Los efectos adversos de los metales pesados dependen en gran medida de su interacción con los organismos o las comunidades. Existe un balance muy delicado entre los organismos y el medio ambiente, el cual está determinado por la utilización de los metales en los procesos bioquímicos que ocurren en la célula y la bioacumulación de niveles tóxicos. Este balance está influenciado, por un lado, por la abundancia y disponibilidad de los metales en la corteza terrestre, y por el otro, por las transformaciones que sufren los elementos a consecuencia de las alteraciones fisicoquímicas y biológicas que provoca y/o acelera el hombre (Páez-Osuna, 1996).

La concentración de metales pesados en el cuerpo de un organismo acuático es del orden de mg/kg o µg/g y resulta de la diferencia neta de las cantidades de ganancia y pérdida por el cuerpo del organismo en cuestión. Por lo tanto cualquier cambio en la captura y pérdida de los metales, o en el cambio de peso de los tejidos, se traduce en un cambio en la concentración del cuerpo, incluidos sus tejidos y órganos.

En la literatura existe cierta confusión sobre el significado de términos como bioacumulación, biomagnificación y biodisponibilidad, a continuación se definen de acuerdo a Mackay y Fraser (2000): Bioconcentración en peces o cualquier otro organismo, involucra la captura de sustancias químicas (incluidos los metales pesados) por absorción a partir, o desde, el agua solamente, y que ocurre vía la superficie respiratoria y/o la piel, y resulta en la concentración de la sustancia en cuestión, siendo mayor en el organismo que en el agua. Bioacumulación se refiere al proceso que causa un incremento en la concentración de la sustancia en cuestión en un organismo acuático comparado con la correspondiente en el agua, debido a la captura que incluye a todas las rutas de exposición, incluyendo la absorción a partir de los alimentos ingeridos, transporte al cruzar la superficie respiratoria y absorción dérmica.

La bioacumulación puede ser vista como una combinación de la bioconcentración y la captura a través del alimento. Biomagnificación, puede ser referida como un caso especial de la bioacumulación, en el cual la concentración de la sustancia química en el organismo, excede a la correspondiente del organismo-dieta y que adquiere por captura durante la alimentación (Páez-Osuna, 2001).

Generalmente, se ha aceptado que los metales pesados son tomados por la biota mediante un proceso pasivo, bajo un gradiente de concentración en sus tejidos. Este proceso puede ocurrir a pesar de la presencia de concentraciones mucho más elevadas en los tejidos que en el medio externo, debido a que los metales en los tejidos son enlazados por una variedad muy amplia de sitios bioquímicos. En algunos casos, la captura puede también ocurrir a través del bombeo iónico, involucrando así un requerimiento energético (Depledge y Rainbow, 1990; Rainbow, 1995; Páez-Osuna, 2001).

1.1 El Mercurio

Entre uno de los metales pesados que más se moviliza de manera cotidiana y que representa un gran riesgo para la salud junto al plomo y el cadmio, sobresale el mercurio, que puede llegar a ser muy tóxico aún en concentraciones bajas. El mercurio es considerado como uno de los elementos no esenciales (sin función biológica conocida) que recibe atención especial por su bioacumulación en la cadena trófica marina, que además es uno de los metales que ha causado más problemas a la salud humana a través del consumo de alimentos contaminados. De acuerdo con distintos autores (e.g., Páez-Osuna, 1996; Lacerda y Salomons, 1998), la presencia de Hg en los organismos marinos genera principalmente el deterioro del sistema nervioso central.

Su principal mineral es el sulfuro rojo o ciabrio, (HgS), se purifica por filtración a través de la gamuza o materiales análogos, lavándolo con ácido nítrico diluido y destilado. Este último separa los compuestos no volátiles formados por la acción del ácido nítrico, y el mercurio destilado es prácticamente puro (Whittaker, 1969).

Muchos de los empleos del mercurio dependen de sus propiedades físicas. Es un líquido entre -38.9° y 357° C, y casi en todo este intervalo de temperatura tiene un coeficiente de dilatación casi constante, que los hace útil en los termómetros. Tiene una baja presión de vapor a la temperatura ambiente y por esto es un buen líquido para coleccionar y medir gases. A elevadas temperaturas, el vapor de mercurio deja pasar la corriente eléctrica a través de un arco, principio por el cual las lámparas fluorescentes comunes emiten luz ultravioleta, que al incidir sobre materiales fosforescentes emiten luz visible. Conduce bien la electricidad en estado sólido o líquido. Puede emplearse en calderas

especialmente construidas, en vez de agua y la presión de vapor del mercurio se emplea para hacer girar turbinas en la generación de energía eléctrica (Whittaker, 1969). Su principal uso recae en formar parte de piezas de aparatos eléctricos diversos, en las luces de neón, baterías, rectificadores y transistores, entre otros. Una producción muy importante del mercurio se consume en la producción de cloro y sosa cáustica, en la que se utiliza como cátodo en el proceso electrolítico en el cual se obtiene cloro (Cl_2) e hidróxido de sodio (NaOH) a partir de una solución de cloruro de sodio (NaCl). Se ha usado formando parte importante de las pinturas anti-incrustantes y a prueba de enmohecimiento. El Hg también se usa como catalizador en los procesos de formación de cloruro de polivinilo (PVC) y otras fibras sintéticas donde actúa como catalizador. Por otra parte este metal es usado en la industria farmacéutica, en la del papel y celulosa, en amalgamas y en la purificación de metales (Páez-Osuna, 1996).

El Hg en su forma inorgánica existe en la naturaleza en tres estados de oxidación: Hg^0 (metálico), Hg^+ (mercurioso) y el Hg^{++} (mercúrico), entre los cuales, los estados mercurioso y mercúrico pueden formar numerosos compuestos químicos tanto orgánicos como inorgánicos. De manera natural el Hg se encuentra en niveles de concentración de 1 ppm tanto en rocas como en suelos, excepto en suelos ricos en humus donde puede alcanzar hasta 2 ppm o incluso niveles mayores en las minas y sitios con actividad volcánica (Tait, 1987; Hammer y Mackichan, 1981; Nebel y Wright, 1999).

Los vapores del metal, así como sus compuestos solubles, son venenosos. Por ejemplo, el cloruro mercurioso (Hg_2Cl_2), llamado calomel, empleado en medicina como laxante, diurético y antiséptico, es venenoso aunque su peligro disminuye por su baja solubilidad, expuesto a la luz se descompone dando mercurio y cloruro mercúrico (que son

más peligrosos). El cloruro mercuríco (HgCl_2) se conoce también como sublimado corrosivo, bicolor o bicalomel, fácilmente soluble en agua, es un excelente antiséptico en soluciones de 0.5 a 0.1 %, en los organismos forma compuestos solubles o coagula las proteínas, inutilizándolas para su funcionamiento celular normal; se acumula y causa daño a las células del riñón, que normalmente excretan las sustancias tóxicas del organismo. El cloruro mercuríco en la industria se aplica como mordiente y para tratamiento de pieles, semillas, el revestimiento del aluminio y embalsamado. Otros compuestos del mercurio como el fulminato mercuríco, $\text{Hg}(\text{OCN})_2$, detona cuando se golpea y se ha usado en las cápsulas de persecución para encender explosivos (Whittaker, 1969).

Los principales países productores de mercurio son España, Italia, Rusia, China, México y los Estados Unidos (U.S. Dept. of the Interior, 1978). Entre las principales fuentes antropogénicas del Hg, hacia el medio ambiente destacan: la extracción del mercurio, la utilización de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) en las centrales térmicas y eléctricas, los procesos metalúrgicos, la producción de metales y de ácido sulfúrico, la incineración de residuos urbanos y la producción de cemento. Además, se utiliza en una serie de aplicaciones muy diversas tales como: instrumentación analítica y de laboratorio, preparaciones dentales, fungicidas y en catalizadores (Tait, 1987; Hammer y Mackichan, 1981; Nebel y Wright, 1999).

1.2 Las aves

1.2.1 Hábitos migratorios de las aves

Las aves migratorias tiene un lugar de origen, en el cual nacieron y al que más tarde, por lo general una vez que alcanza la madurez sexual, regresan para construir su nido; en la estación fría, tienen una morada invernal a la que se dirigen en un momento

determinado, antes del descenso de la temperatura y poco antes del período reproductor. La migración puede tener relación con la llegada de la estación fría, en las que además del rigor de las temperaturas se produce la desaparición de los insectos, frutas y semillas que constituyen, casi en exclusiva, el alimento de gran parte de las aves (Lara-Hernández, 1997). Además, la migración puede estar ligada a una secreción especial de las glándulas sexuales capaz de producir el estado de excitación que caracteriza a las aves durante el periodo premigratorio (Lara-Hernández, 1997).

Se puede decir que existen en el ave factores internos y externos (intrínsecos y extrínsecos), que actúan tal vez de manera simultánea como reguladores fisiológicos normando el mecanismo del tiempo de migración (factor extrínseco: el foto-período). Hay muchos elementos para pensar que el foto-período es la clave de la regulación del mecanismo de migración: vientos fuertes parciales, caída de nieve, temperaturas bajas, nublados, duración de la noche en comparación con el día. El foto-período opera por la influencia de la luz en la glándula pituitaria, que libera hormonas que controlan el reloj anual de las especies. Una vez que el incremento de la luz inicia el reloj anual, la especie necesita recorrer toda la gama de actividades del ciclo de vida del ave: migración, cortejo, apareamiento y la muda. En cuanto al factor intrínseco, la acumulación de grasa es un factor importante al estímulo del reloj interno de migración (DUMAC, 2002). Las aves, para llevar a efecto desplazamientos migratorios de hasta 15,000 Km. (desde las planicies canadienses a la Patagonia en la mayoría de los casos), requieren almacenar determinadas sustancias de reserva en forma de lípidos en sus tejidos grasos, o en su defecto continuar alimentándose a lo largo de sus trayectos (Orr, 1974). El almacenamiento de lípidos es el más apropiado debido a la baja densidad en relación con los carbohidratos y al mayor potencial de liberación de energía, aunque las vías metabólicas sean más largas

o más complejas. Generalmente, los tejidos en que se almacenan los lípidos se hallan cubriendo la cavidad peritoneal en las cercanías de los riñones y en láminas tisulares suprayacentes a la epidermis (Mejía-Sarmiento, 2001).

La migración otoñal comienza primero en las zonas más frías y se extiende luego sucesivamente a las zonas menos frías. En el transcurso de su largo viaje migratorio las aves siguen fundamentalmente aquellas vías que ofrecen condiciones de vida más parecidas a su hábitat. No obstante, al final del invierno, cuando disminuye el frío y el mundo vegetal despierta, las aves sienten la necesidad de regresar a sus lugares de origen para construir los nidos y criar a los polluelos, siendo tan enérgico el reclamo, que muchas especies vuelven todos los años al mismo lugar, y aun al mismo nido del año anterior. El vuelo primaveral de regreso, con dirección contraria a la del vuelo otoñal, resulta mucho más rápido (Lara-Hernández, 1997).

1.2.2 *Aves Acuáticas Migratorias*

Un ave que requiere un hábitat acuático o semiacuático para completar alguna parte de su ciclo biológico, y que pertenece a la familia Anatidae es un ave acuática que además puede ser migratoria o residente. Una gran cantidad de aves acuáticas presentan hábitos migratorios.

En todo el mundo hay cerca de 145 especies de aves acuáticas migratorias, que son agrupadas en 11 tribus y 43 géneros. América del Norte alberga 43 especies de aves acuáticas migratorias que son reproductores nativos del lugar y de acuerdo con Johnsgard's (1965), hay 7 tribus y 15 géneros en América del Norte. De éstos,

aproximadamente, 11 a 12 géneros, pertenecen a 7 tribus que invernan en México (DUMAC, 2002).

1.2.3 Aves en México

México, posee extensas costas tanto al oeste como al este y sureste. Es sobre sus costas y a todo lo largo de ellas, que las aves acuáticas se desplazan en sus movimientos migratorios anuales. Así, se han determinado de 3 a 4 rutas; la ruta del Pacífico, la ruta Central, la ruta del Golfo y de acuerdo con DUMAC (2002), además la ruta del Atlántico (que contempla solamente la península de Yucatán), como se observa en la Figura 1; tales rutas establecidas como resultado de las observaciones por radar, de los desplazamientos de dichas aves, en varias estaciones climatológicas al este de las montañas Rocallosas; y según Mejía-Sarmiento (2001), en la primera y la tercera ruta hay predominio de especies de aves acuáticas, en tanto en la central no se detecta dominancia entre terrestres y acuáticas, invariablemente las aves siguen sus rutas ancestrales sin entremezclarse y las que llegan a México proceden en su mayoría de las dos rutas occidentales.

Las aves de la ruta del Pacífico que llegan a México, siguen en su totalidad la costa del Pacífico, desparramándose por todos los pantanos próximos desde el sur de Sonora hasta Chiapas. Cerca de un tercio de las especies de aves registradas para nuestro país son migratorias. Sus áreas de reproducción se encuentran en Norteamérica (Alaska, Canadá y Estados Unidos) y pasan el otoño y el invierno en México. Su arribo a nuestro país se inicia a finales de agosto y se prolonga hasta noviembre y el vuelo de regreso a sus áreas de anidación lo efectúan de marzo a mayo. Las aves residentes son las que se reproducen y se encuentran en México durante todas las estaciones del año. Cabe mencionar que las aves acuáticas tienen un potencial de aprovechamiento y explotación como recurso cinegético y en actividades como el turismo (Mejía-Sarmiento, 2001).



Figura 1. Rutas Migratorias desde el Norte de América hasta México (DUMAC, 2000).

Según Mejía-Sarmiento (2001) las costas de Sinaloa son el corredor por el que las aves se desplazan dos veces al año, al moverse hacia el sur y al retornar a sus lugares de reproducción. Esto ocurre a lo largo de la denominada ruta migratoria del Pacífico en los meses de inicio y término del invierno (octubre hacia el sur y marzo hacia el norte respectivamente).

El paso de las aves se aprovecha para iniciar la práctica de la caza deportiva, la cual está regulada por la SAGARPA y SEMARNAT, según lo establecido en los calendarios cinegéticos que se publican justo antes de la temporada. Las aves migratorias de la familia anatidae constituyen en México el grupo más importante de las aves de caza. Ninguna otra familia de aves se aproxima a ésta en su valor recreativo y económico (Starker, 1987). La mayoría de las aves acuáticas de Norteamérica anidan en Canadá, Alaska y el norte de los

Estados Unidos, e invernán al sur de este país y en México. Solamente algunos de los patos, principalmente el pato golondrino (*Anas acuta*), el bocón (*A. clypeata*), el boludo (*Aythya sp*) y algunas cercetas (*Anas sp*) viajan más allá de México en el invierno (Mejía-Sarmiento, 2001).

1.4 Biomonitorio de metales pesados

Entre los metales pesados se puede marcar una división: los esenciales y los no esenciales. Los metales pesados, sean o no esenciales, son potencialmente tóxicos para la biota acuática, la cual se expone directa o indirectamente a eventuales o permanentes efluentes ricos en metales. Debido a este riesgo en la salud de los ecosistemas, se requiere contar con una evaluación científica de la contaminación por metales en las aguas costeras, y de esta forma medir la variación en el tiempo y/o en el espacio (Rainbow, 1993).

Mediante el biomonitorio se pueden identificar tendencias en las concentraciones que demuestren si la exposición potencial a un químico en particular se incrementa o decrece (Burger and Gochfeld, 1997); este podría ser el caso de los metales pesados (particularmente el mercurio); por lo cual, hay una creciente necesidad por convertir el biomonitorio en una herramienta que pueda ser usada para valorar la salud de los ecosistemas y las partes que los componen, y que además permita proveer de advertencias a tiempo de un posible daño potencial en la salud humana (Ratcliffe *et al.*, 1996).

Para seleccionar un organismo como biomonitor deben tomarse en cuenta ciertas características. Phillips (1980) considera que la selección de un biomonitor adecuado es de

mucha importancia; una decisión incorrecta en esta etapa eventualmente puede volver infructuosa una investigación. Algunos prerequisites deseables en un organismo para considerarse como un buen biomonitor fueron sugeridos inicialmente por Butler et al. (1971) y son:

- (a) Que acumule el contaminante sin morir por los niveles encontrados en el ambiente.
- (b) Que sea sedentario, de manera que represente el sitio de estudio.
- (c) Que sea abundante en toda la zona de estudio.
- (d) Que el organismo sea suficientemente longevo para permitir un muestreo de una o más clases de edad en caso de ser requerido.
- (e) Que tenga una talla razonable de manera que proporcione el suficiente tejido para llevar a cabo los análisis.
- (f) Que sea fácil de muestrear y suficientemente resistente para sobrevivir en el laboratorio, además de permitir la defecación antes de los análisis (si es que se requiere) y los estudios de absorción de contaminantes en el laboratorio.

De la variedad de organismos, las aves son muy importantes no sólo por su potencial aprovechamiento y explotación como recurso cinegético y turístico; desde el punto de vista ecológico, éstas se consideran de alto nivel trófico e indicadoras de la presencia de Hg en áreas geográficas amplias (Furness y Camphuysen, 1997), y además representan mediante el biomonitoreo, una herramienta importante que provee una advertencia potencial para daños y riesgos en la salud de los organismos (debido a los efectos tóxicos por metales pesados), que se encuentran en un nivel similar a las aves en la cadena alimenticia, lo cual incluye al hombre en el cultivo y captura de los recursos pesqueros (Fitzgerald and Mason, 1996). Esto último permite asumir que las aves son un

tipo de biomonitor adecuado para valorar los efectos de la contaminación por mercurio en las costas de Sinaloa, ya que son el corredor por donde las aves migratorias cruzan dos veces al año ó permanecen durante la época de otoño e invierno. En relación a esto y a las distintas actividades que se desarrollan en la entidad, en este trabajo se pretendió efectuar un biomonitoreo de mercurio con aves acuáticas migratorias y residentes en distintos puntos de la costa, lo que permite conocer los niveles de concentración de este tóxico en varios tejidos de dichas aves y simultáneamente evaluar los efectos de la concentración del mercurio en la salud de estos organismos, así como su relevancia ecológica. Para lo cual, se efectuaron dos muestreos con el objeto de capturar aves migratorias y aves residentes, el primero justo después del arribo a las costas de Sinaloa y el segundo antes del vuelo de regreso a su lugar de origen en Norteamérica y con esto establecer comparaciones con las capturas de ambos muestreos, y además en distintos puntos de las costas Norte y Sur de Sinaloa.

2. ANTECEDENTES

2.1 Estudios sobre el mercurio

Según Mina Konigsberg (artículo aparecido en la Casa del Tiempo, 2000) el estudio del efecto de los metales pesados no es algo nuevo sino que ha sido objeto de investigaciones desde épocas ancestrales, ya que en el año 370 a.c., Hipócrates describió por primera vez cólicos abdominales en hombres que extraían metales de las minas y así también, la intoxicación por ingestión del mercurio y arsénico se describió en 387 y 372 a.c. por Thefrastus y Erebos, respectivamente. Por su parte, Plinio fue el primero en describir una enfermedad en los esclavos que trabajaban en las minas de mercurio (Magos 1975). El uso terapéutico del mercurio se remonta a 3000 años (Farley 1952) y existen datos de intoxicaciones que datan del año 1800 D.C. (Bidstrup 1964).

En años recientes, se han presentado intoxicaciones debidas al consumo de pescado que contienen derivados de metil y dimetil mercurio (Niigata Report, 1967; Katasuna, 1968). No obstante, entre las intoxicaciones con mayor índice de mortalidad se encuentra la registrada en Irak en 1971- 1972, debida a la ingestión de pan contaminado con fungicidas mercuriales (Bakir *et al.*, 1973).

Sobre estudios realizados recientemente con los metales pesados, cabe destacar los trabajos efectuados en la Bahía de Minamata, Japón luego de los efectos causados en la biota, sedimento y población en general. La causa de la presencia del mercurio en este cuerpo de agua fue debido al vertimiento de Hg a partir de la fabricación de acetaldehído y cloruro de vinilo entre 1950-1968. Debido a los niveles elevados de Hg en los alimentos marinos fueron descontinuadas las fuentes del contaminante y se restauró la zona impactada por medio de dragado hasta 1988 (Kudo *et al.*, 1999).

Ruelas *et al.* (2000) determinaron niveles de mercurio en músculo, hígado y riñón de delfines tornillo (*Stenella longirostris*) en La Paz, Baja California. En este estudio se reflejó que las hembras acumularon mayores concentraciones que los machos para todos los tejidos analizados. Además se determinó que existía una correlación peso-concentración en el hígado, es decir, que la concentración de Hg aumentaba con respecto al peso de los organismos.

Velazco *et al.* (2001) determinaron la concentración de Hg y As en 84 muestras de atún y sardinas enlatadas mexicanas. Los resultados demostraron que el 36 % de las muestras de atún analizadas rebasaron la concentración máxima de 1.0 mg/kg de Hg en pescado, establecido por la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos; mientras que el contenido de As enlatado supera el valor máximo permisible por la legislación inglesa (2.2 mg/kg), por lo que se infiere la urgencia de establecer un muestreo en mayor escala, que permita detectar la magnitud del problema, así como también cuantificar los contenidos orgánico e inorgánico de arsénico y mercurio en productos pesqueros.

2.2 Estudio de metales pesados en aves

Blomqvist *et al.* (1987) determinaron las concentraciones de 10 metales (Ca, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, V, y Zn) en el hígado y riñón de dos especies de aves (*Calidris alpina* y *C. Ferruginea*) del mar Báltico. La concentración de Cu disminuyó conforme al aumento de la edad de las aves, mientras que el Cd aumentó de acuerdo al incremento de la edad.

Szefer y Falandysz (1987) midieron las concentraciones de Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, y Zn en diversos tejidos del pato *Aythya marila* proveniente del la bahía de Gdansk en

el mar Báltico. Las concentraciones más elevadas de Cd se detectaron en el riñón; para el caso del Cu y el Mn el hígado presentó los niveles más altos. El Zn se detectó mayormente en el hígado y el estómago.

Honda *et al.* (1990) cuantificaron cuatro elementos esenciales (Cu, Fe, Mn y Zn) y dos metales tóxicos (Cd y Hg) en diversos tejidos de 19 especies de aves marinas del Pacífico norte (Mar de Bering, Mar de Japón y Mar de China). Las concentraciones de los metales esenciales generalmente fueron mayores en el hígado. Por otro lado, las concentraciones de los metales tóxicos fueron mayores en el hígado y el riñón, y variaron ampliamente entre las diferentes especies, dependiendo, en gran medida, de las diferencias en la dieta de las especies.

Lewis *et al.* (1993) midieron los niveles de Hg en huevos, plumas, hígado y ovario de la gaviota *Larus argentatus* que anida en la costa del mar de Wadden en Alemania. Los resultados no reflejaron diferencias en las concentraciones de Hg según el sexo. Los niveles más elevados fueron encontrados en las plumas.

Diversas aves marinas del género *Uria* fueron recolectadas en las costas de Bélgica durante el invierno de los años 1990-1995. Se determinaron las concentraciones de Hg total y orgánico, y de plaguicidas organoclorados en el músculo, hígado y riñón. Los valores obtenidos fueron comparados con los registrados durante el verano, y se determinó que hubo un aumento de la concentración durante la época de invierno y que dicho incremento no se debe a los cambios del peso corporal ni al contenido de lípidos, sino que su origen procede de la contaminación antropogénica en el área estudiada (Joiris *et al.*, 1997).

Kim *et al.* (1998) cuantificaron las concentraciones de 14 elementos (Ag, Cd, Co, Cu, Cs, Hg, Li, Mn, Pb, Rb, Se, Sr, V y Zn) en diversos órganos y tejidos de varias especies de aves marinas. Se presentaron correlaciones positivas significativas entre el Se y el Cd en tres especies de aves; y entre el Se y el Hg en el albatros de patas negras. Se concluyó que el Se tiene una acción antagonista a los efectos tóxicos del Cd y el Hg.

Monteiro *et al.* (1999) evaluaron el patrón de contaminación por Hg en las costas del Atlántico en Portugal a través del monitoreo de aves marinas. Se utilizaron 7 especies de aves marinas con diferentes hábitos alimenticios (presas epipelágicas y mesopelágicas). Los resultados mostraron un incremento en la bioacumulación de Hg hasta de 4 veces entre el comportamiento epipelágico y el mesopelágico. De manera general, los niveles de contaminación en el Atlántico Portugués son similares a los de otros sitios no contaminados.

Saeki *et al.* (2000) cuantificaron los niveles de Cd y Hg en cormoranes comunes (*Phalacrocorax carbo*) recolectados en las costas de Japón con la finalidad de evaluar el comportamiento biológico y la exposición a estos elementos. Los mayores niveles de Hg se observaron en el hígado; en el caso del Cd se detectó mayormente en el riñón. Se observó un incremento significativo en la concentración de ambos metales de acuerdo al aumento en talla de las aves.

Rendón-Von Osten *et al.*, (2001) determinaron la concentración de Pb en plumas de 10 aves residentes y 2 migratorias de la familia *Anatidae* recolectadas en el sistemas lagunar Altata-Ensenada del Pabellón Sinaloa. En este estudio se encontró que las aves

inmaduras contenían mayores concentraciones de Pb que el resto; y recomendaron en particular la utilización de *Anas crecca* como bioindicador de este elemento.

Ruelas-Inzunza (2001) determinó la concentración y la distribución de seis metales pesados en catorce especies de aves acuáticas (*Dendrocygna bicolor*, *D. autumnalis*, *Fulica americana*, *Charadrius vociferus*, *Anas cyanoptera*, *Recurvirostra americana*, *Himantopus mexicanus*, *Plegadis chihii*, *Oxyura jamicensis*, *Aythya affinis*, *Pelecanus occidentales*, *Phalacrocorax brasilianus*, *Bubulcus ibis* y *Casmerodius albus*) recolectadas en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón; encontró diferencias significativas entre la concentración de los metales en las diferentes especies de aves estudiadas. Las mayores concentraciones se observaron en aves clasificadas como consumidores secundarios: *Fulica americana* (Cu y Fe), *Charadrius vociferus* (Cd y Pb), *Aythya affinis* (Zn) e *Himantopus mexicanus* (Mn).

Burger y Gochfeld (2001), midieron las concentraciones de seis metales (Ar, Cd, Cr, Hg, Mg, Sr y Pb) y selenio en plumas del cormorán (*Phalacrocorax capensis*), gaviotas (*Larus hartlaubii* y *Larus dominicanus*), y el flamenco (*Phoeniconaias minor*) de la costa de Namibia al Sur de África. En este trabajo las menores concentraciones de estos metales se presentaron en el flamenco y las gaviotas presentaron las mayores concentraciones de mercurio.

Angulo- García (2002), investigó los niveles de concentración de Hg en tejidos de 3 especies de aves migratorias (*Recurvirostra americana*, *Fulica americana* y *Anas cyanoptera*) y una residente (*Dendrocygna autumnalis*). Recolectadas en el sistema lagunar Altata – Ensenada del Pabellón, Sinaloa. Las mayores concentraciones en los tejidos estudiados se reportaron en *R. americana*; las concentraciones mas bajas se

reportaron para *D. autumnalis* y *A. cyanoptera*. Concluyó que los valores de Hg encontrados en este estudio son considerados altos comparado con otros estudios de áreas considerados como contaminadas por Hg.

Arvizu – Merín, (2003), determinó los niveles de concentración de Hg en tejidos de 5 especies de aves acuáticas residentes de Altata -Ensenada Del Pabellón, Sinaloa (*Pelecanus occidentalis*, *Plegadis chihii*, *Bubulcus ibis*, *Phalacrocorax brasilianus* y *Ardea alba*). Concluyó que los niveles de Hg encontrados en estas 5 especies se presentan por abajo del promedio establecido para aves a nivel mundial y que estos niveles se encuentran por debajo de las concentraciones que provocan efectos adversos en las aves.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los patos y gansos que viajan hacia el sur en el otoño, se enfrentan a dos añejos y grandes problemas, uno encontrar un hábitat adecuado en las tierras pantanosas para descansar y alimentarse durante el viaje, y dos, el peligro de que sean cazados a lo largo de su ruta; adicionalmente, en los últimos años el peligro potencial de intoxicación por sustancias químicas que se vierten a los humedales como resultado de las actividades agropecuarias amenazan a estas aves (Mejía-Sarmiento, 1994) y de acuerdo con diversos estudios (Burger, *et al.*, 1993a; 1993b; 1997; 1999; 2000), un contaminante potencialmente peligroso para estos organismos, es el mercurio. Este último asociado además con otras actividades como la minería y el uso industrial que son consideradas como las fuentes antropogénicas más importantes de contaminación por mercurio en el ambiente (Picazo-Sánchez y Fernández-Vozmediano; 2003). El mercurio está relacionado con serios problemas ambientales y especialmente con la contaminación de los sistemas acuáticos; lo que provoca la participación de este elemento en los ciclos biológicos y biogeoquímicos, ya que se encuentra ampliamente distribuido en los sistemas acuáticos (Páez-Osuna, 1996).

El mercurio es un neurotóxico. Los efectos tóxicos dependen de su forma química, dosis, tiempo de exposición y ruta de admisión. La forma más tóxica del mercurio es especialmente la orgánica por medio del metilmercurio (Clark, 1972. Faro et al., 1997), principalmente por que este último es altamente liposoluble y penetra en la membranas celulares más rápidamente que el mercurio inorgánico (Gloking et al., 1977). En relación a lo anterior, Fitzgerald y Mason (1996) en sus trabajos concluyeron, que cuando el mercurio es emitido a la atmósfera en forma de vapor elemental (Hg^0), éste se transforma a una forma soluble (Hg^{++}); la transformación del mercurio inorgánico a orgánico (principalmente

como metilmercurio) es el primer paso en el proceso de acumulación en la biota acuática, el cual ocurre a través de la acción de bacterias sulfato reductoras, las cuales actúan como agentes metilantes bajo condiciones aerobias y anaerobias. Una vez efectuada la conversión bacteriana, el MeHg entra en la cadena trófica de las especies depredadoras en las que el compuesto es acumulado. De acuerdo a Furness y Camphuysen (1997) las aves son consumidoras de alto nivel trófico y se ha demostrado que son potencialmente utilizables como monitores de contaminantes, por lo tanto indicadoras de la concentración de mercurio, las cuales pueden ser aprovechadas para el estudio de este tóxico.

Las diferentes rutas de exposición del elemento son por vía gastrointestinal, vía respiratoria y/o vía cutánea. Cuando los organismos como el caso de las aves, se exponen al Hg, éste es distribuido en los diferentes tejidos. De acuerdo a estudios recientes relacionados con el ingreso del metal por vía gastrointestinal, en los cuales se han analizado diversos tejidos de aves como hígado, plumas, hueso y riñón; son el hígado y las plumas los principales sitios de acumulación de este elemento (Monteiro *et al.*, 1997).

El mercurio se encuentra en los ecosistemas (aunque en cantidades traza): en los sólidos, el aire, el agua y en los organismos vivos. Así el riesgo del mercurio está asociado con dos factores interrelacionados entre sí, que tiene que ver con los procesos naturales en combinación con la incidencia de altas concentraciones como resultado de las actividades humanas, lo cual incrementa la probabilidad del daño (WHO, 1990; Rio-Segade and Bendicho, 1999).

Sinaloa es sin duda un estado donde se desarrollan diversas actividades que involucran el uso del mercurio y/o de los compuestos del mercurio, que llegan a

bioacumularse en los organismos (particularmente en especies de los más altos niveles tróficos). La aportación de este elemento a los ambientes costeros, puede ser principalmente por los escurrimientos pluviales (aporte de la actividad agrícola), desechos urbanos e industriales que contempla el aporte de diversas industrias manufactureras aledañas a los cuerpos de agua y que llegan a tener alguna conexión directa o indirecta con la zona costera, como podría ser la del papel, de productos metálicos, manufactura de maquinaria y equipo y la actividad minera, entre otras. De tal manera, que las aves acuáticas al ser vulnerables a los contaminantes y por tener un periodo de vida largo comparadas con otros organismos que se encuentran en un alto nivel de la cadena trófica (Hunter y Jhonson, 1982; Straalen y Ernest, 1991; Burger *et al.*, 1992, 1994; Burger and Gochfeld, 2000), son utilizadas como bioindicadores de la contaminación por mercurio en este estudio.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- * Establecer la concentración y distribución de mercurio en tejidos de 9 especies de aves acuáticas migratorias y residentes recolectadas en la costa de Sinaloa.

4.1 Objetivos Particulares

- * Conocer la concentración y distribución de mercurio en sangre, músculo, hígado, corazón, molleja, vísceras y plumas en 9 especies de aves migratorias y residentes de las costas de Sinaloa.
- * Comparar los niveles de concentración de Hg en los tejidos de las 9 especies de aves acuáticas, según el sexo y el peso de los ejemplares recolectados.
- * Comparar las concentraciones de Hg en los tejidos de las aves de la misma especie según la zona de captura.
- * Comparar las concentraciones de Hg en los tejidos de las aves de la misma especie después del arribo y antes de la partida de los sitios de captura.
- * Efectuar un análisis de correlación de la concentración de Hg entre los diferentes tejidos de cada una de las especies estudiadas, haciendo énfasis entre las plumas y el hígado.
- * Comparar los niveles de concentración del mercurio en los tejidos analizados entre las distintas especies capturadas según su residencialidad (residente o migratoria) y hábitos alimenticios.

- * Diagnosticar el nivel de exposición o disponibilidad del Hg en las diferentes áreas geográficas donde residen las aves comparando y discutiendo las concentraciones de mercurio encontrados en el presente trabajo con los encontrados en otros estudios.

5. HIPOTESIS

- × La concentración de mercurio en los tejidos de las aves acuáticas, esta determinada por el peso del individuo, el sexo, la especie a la que pertenece, residencialidad (residente ó migratoria), el lugar de captura, hábitos alimenticios y desde luego del grado de exposición al Hg al que se ven sujetas; mismo que depende del estado de salud o grado de contaminación por Hg del área en cuestión.

- × Para las aves migratorias los niveles de concentración de Hg serán mayores en la época de arribo que en la época de partida, lo cual depende de las diferencias en los niveles de Hg de las áreas en que habitan temporalmente estas aves.

- × La mayor concentración de Hg se espera observar principalmente en las plumas y el hígado, además los niveles de Hg de estos tejidos entre si presentan correlaciones significativas.

6. AREA DE ESTUDIO

Sinaloa se ubica en el noroeste del país, a los 22°30' 40" y 27°02'42" de latitud Norte, limita con los estados de Sonora, Chihuahua, al sur con Nayarit, al este con Durango y al oeste con las aguas del Golfo de California y del Océano Pacífico, ha cimentado su economía en el binomio agricultura y pesca, sin embargo, en tiempos recientes ha diversificado sus actividades económicas hacia el desarrollo del turismo y la acuacultura (Mejia-Sarmiento, 2001).

Sinaloa posee una superficie de 58,359 km² (2.9 % de la superficie del país) y una población de 2 534 835 habitantes (con una estimación de 2 579 696 para el 2010). Los principales municipios son (número de habitantes): Culiacán (744 859), Mazatlán (380 265), Ahome (358 663) y Guasave (277 201); concentran el 67.47 % de la población total (Aguayo-Quezada, 2000). Tiene una extensión agrícola de 1, 333,450 ha (743 482 ha de agricultura de riego y 589,968 ha de agricultura de temporal) (Mejia-Sarmiento, 2001), en las que se cultivan hortalizas, legumbres, frutales, granos y pastizales. La principal industria manufacturera esta constituida por: los productos alimenticios, bebidas y tabaco; papel, productos de papel, imprentas y editoriales, productos de minerales no metálicos y productos metálicos, maquinaria y equipo. El volumen de la producción minera (en toneladas) es: oro, 0.651; plata, 49.36; plomo, 2.246; cobre, 186, y Zinc (Aguayo-Quezada, 2000). Los ríos que la conforman son: El Fuerte, Sinaloa, Mocorito, Humaya, Tamazula, Culiacán, San Lorenzo, Elota, Piaxtla, Presidio, Baluarte y Cañas. El litoral tiene una extensión de 656 Km, de los cuales el 91% se encuentra en la zona de influencia del Golfo de California y el resto se integra al océano Pacífico. Como puntos extremos de la zona costera, se encuentran la Bahía de Agiabampo en el norte del estado y la Boca de

Teacapán, en el municipio de Escuinapa, al sur. Sobre su línea de costa se distribuyen 221,600 ha de lagunas litorales, hábitats altamente productivos que proporcionan condiciones para el desarrollo, alimento, refugio, descanso de una gran biodiversidad; siendo la avifauna, uno de los taxa más conspicuos. En Sinaloa, se encuentran 272 mil hectáreas de marismas y de lagunas costeras, incluyendo una superficie insular de 608 kilómetros cuadrados (Madariaga-Ceceña, 1996) que ofrecen oportunidades de sobrevivencia a casi 3,350,000 de aves que todos los inviernos llegan o pasan por nuestras costas siguiendo la ruta migratoria del Pacífico, además del soporte para las poblaciones residentes (Mejia-Sarmiento, 2001).

A continuación, se presentan los sistemas costeros en los cuales se llevó a cabo la captura de las aves, y además su ubicación geográfica en un mapa de la zona costera (Figura 2):

6.1. Sistema Litoral Majahual

Se localiza en la costa sur de Sinaloa, entre los 22°27' y 22°53' latitud Norte y los 105°35' y 106°00' longitud Oeste. Tiene una extensión de 22,100 ha, entre lagunas y esteros, con 1 800 ha para la laguna Cerritos, 1 600 ha para laguna Grande, 2 500 ha para Las Cañas y 1 400 ha para Agua Brava. Es de Tipo II-C según Lankford (1997). Sus usos del suelo son: 26% de agricultura, 13% forestal, 19% pastizales y vegetación secundaria, 13% corresponde a cuerpos de agua, 9% forestal-mangle y 19% para otros usos como pesca ribereña y camaronicultura. Los esteros y laguna Grande tienen comunicación natural permanente a través de la Boca de Teacapán. Sus principales afluentes son el Río Acaponeta y Cañas. Dentro de las especies pesqueras que alberga son el camarón, chihuil, burro, corvina, lisa macho, mero, mojarra, pargo, róbalo y constantino (Diario Nacional, lunes 28 de agosto 2000).

6.2 Huizache-Caimanero

Se encuentra en la costa sur de Sinaloa, entre los 22°50' y 23°05' latitud Norte y los 105°55' y 106°15' longitud Oeste. Se ubica dentro de los municipios de Mazatlán y El Rosario. En 1969 se tenía una superficie de 17 500 ha, para 1997 el registro fue de 13 000 ha aproximadamente. Durante época de sequía el sistema ve reducida su superficie hasta en un 63%. Se encuentra dentro de la clasificación tipo III-A. La pesca y la Camaronicultura son actividades preponderantes, en los terrenos circunvecinos el 32% es de uso agrícola, 5% forestal, 30% pastizal y asociaciones secundarias, 2% forestal y 12% otros. El sistema se comunica de manera indirecta e intermitente con el mar a través del estero del Ostial, al norte del sistema. el Río Baluarte y el Río Presidio son su principales afluentes. Se encuentran especies como camarón de estero, jaiba, chihuil, corvina, lisa macho, mojarra, pargo y robalo (Diario Oficial. 28 de agosto de 2000).

6.3 Altata-Ensenada del Pabellón

Sistema lagunar que se encuentra entre 107°28'-107°48' Oeste y 24°19'-24°32' Norte, en el Océano Pacífico. Esta región es cálida con una estación de lluvias que abarca de junio a septiembre-octubre y presenta una estación de secas de noviembre a mayo (Peraza-Vizcarra, 1973). Los bordes de la laguna y de las islas de la laguna están cubiertos por manglares (*Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicenia germinans*) con una extensión total de 10 630 ha (Flores-Verdugo *et al.*,1992). La laguna sostiene una importante industria camaronícola (*Penneus spp.*), bivalvos (oyster: *Cassostrea spp.*) y varias especies pesqueras (*Mugil spp.*, *Lutjanus spp.*, *Sphoeroides spp.*) para el mercado nacional y la exportación. Corresponde a la clasificación tipo III-A de las lagunas costeras según Lankford (1997). La Bahía de Altata tiene una profundidad media de 5 m con condiciones principalmente marinas (32 usp). Ensenada del Pabellón se

encuentra junto a la bahía y es más ancha que la bahía de Altata, cubre un área de 247 Km² y tiene una profundidad media de 1m y presenta condiciones, hasta hace algunos años, estuarinas con una salinidad entre 10 y 28 psu. La salinidad anual de todo el sistema es aproximadamente de 28 usp en promedio. El agua de mar adyacente posee una salinidad de 35 usp. La temperatura del agua varía de 20° C en enero a 32° en agosto. El área del complejo es aproximadamente 460 Km², incluyendo 100 Km² de manglares. El Río Culiacán descarga a la laguna un flujo anual de $3\,400 \times 10^6 \text{ m}^3$, descargando 80 m³/s hace algunos años (SEMARNAP-CNA, 1996). La profundidad del sistema varía de 25 cm en la zona de manglares a 15 m en la entrada de la Tonina. Pero se estima un promedio de 3 m para el total del sistema, dando un volumen total de aproximadamente $1\,400 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Flores-Verdugo y De la lanza-Espino, 1997). El sistema está separado del mar por una estrecha barrera de arena (con 60 Km de largo y de 1-2 Km de ancho), interrumpida por dos entradas: una pequeña y relativamente reciente (La Palmita) y una principal (Tonina). El complejo lagunar se encuentra localizado en el valle de Culiacán y recibe las descargas agrícolas del distrito, por varios canales de drenaje. Este distrito comprende más de 270 000 ha (Lieberknecht, 2000) de tierras agrícolas de riego usada principalmente para la producción hortícola. La producción hortícola de esta región es una tercera parte de la producción total exportada de México. También en esta región existe una industria azucarera, la cual descarga sus drenes a este sistema lagunar. Varios autores han reportado la presencia de plaguicidas y de metales pesados en la laguna y recientemente, también la laguna recibe un nuevo impacto por las granjas camaronícolas (Diario Oficial, 28 de agosto de 2000).

6.4 Bahía Santa María- La Reforma

Se encuentra en la parte central del estado de Sinaloa, Tiene un área de 1350 Km², Se encuentra entre los 24°43' y 24° 25' latitud Norte y los 107°56' y 108°19' longitud Oeste. Compuesta por un diverso mosaico de manglares, planos intermareales, marismas de agua dulce, extensas zonas salobres y marismas emergentes salobres (Scott y Carbonell, 1986). El área de manglar se extiende en una superficie aproximada de 157 Km². La profundidad máxima es de 24 m y la profundidad media es de 7 m, se comunica con el océano Pacífico a través de dos grandes bocas con más de 5 Km de ancho y de 12 a 17 m de profundidad (Castro Ortiz y Sánchez Rojas, 1976). La bahía se encuentra dentro de la llanura del Pacífico, donde encontramos un clima de semiseco a seco muy cálido, con una temperatura media anual de 24.2 °C y una precipitación promedio anual de 433.8 mm, con las mayores lluvias en verano y escasas en invierno. Es el sistema costero más grande del estado de Sinaloa y uno de los más importantes por la gran diversidad de flora y fauna silvestre. Este sistema forma parte del corredor de aves migratorias de Norte América. Los tipos de vegetación (Miranda y Hernández, 1963) son: bosques de manglar localizados en el borde de la línea costera y bordes de algunas islas e islotes. Selva baja espinosa que se encuentra en la isla Talchichitle y Altamura así como algunos manchones muy cercanos a la costa, selva baja caducifolia que se localiza principalmente en la zona cerril de Angostura y Navolato; otro tipo de vegetación son las asociaciones halófitas que están localizadas después de la vegetación de manglar, mezcladas con pastizales salinos o con suelos con alto contenido de sal. Comprende parte de los municipios Angostura y Navolato. Las islas Talchichitle y la Altamura dividen a la bahía en dos, las Bahías de Santa María y Reforma. Al sureste de localiza el estero Yameto. Este complejo lagunar entra en la clasificación tipo III-A y III-C (Lankford, 1977). Los principales centros poblados son la Reforma con cerca de 7600 habitantes en 1995 y la cabecera municipal de Angostura con 4687 habitantes, mientras que en todo el

municipio de Angostura es de 47 095 habitantes. La principal especie explotada es el camarón. La producción agrícola en la cuenca del Río Mocorito, que corresponde al distrito agrícola de Guamúchil es de casi 400,000 ton anuales dominando el cultivo de maíz, trigo, garbanzo, sorgo y frijol. Esta cosecha corresponde a 140,872 ha, de las cuales 86,214 son de riego y 54,658 de temporal (Programa Piloto de Monitoreo Ecológico-Revisión, 2000).

6.5 Navachiste-San Ignacio-Macapule

Se localiza entre los 25°22' y 25°35' latitud Norte, y 109°5' y 108°45' longitud Oeste. Pertenece a los municipios de Ahome y Guasave. El sistema abarca 26 700 ha y comprende principalmente la Bahía de Navachiste con 21 400 ha. Como subsistemas la Bahía de San Ignacio con 2 700 ha y la Bahía de Macapule con 2 600 ha. Tiene una profundidad media de 4 m. Posee una barrera arenosa de 23 Km de largo y 8 islas. En torno a este complejo lagunar se observan actividades agrícolas, pesqueras, acuícolas y turísticas. Pertenece a la clasificación III-A según Lankford (1997). Es un sistema semicerrado por la isla de San Ignacio; tiene dos bocas de comunicación con el Golfo de California denominadas Ajoro y Vasequilla con una extensión de 2 y 1.5 Km de ancho, respectivamente. Dentro de las principales afluentes se encuentran dos esteros importantes, El Colorado y El Caracol que reciben los aportes de drenes agrícolas y municipales del distrito de riego 063. Las especies importantes que alberga son: camarón, ostión, almeja, lisa, mojarra, botete, pargo, mero y róbalo (Diario Oficial, 28 de agosto de 2000).

6.6 Topolobampo-Ohuira

Localizada en la costa noroeste de Sinaloa, entre los 25°32' y 25°36' latitud Norte y los 109°8' longitud Oeste, comprendida en el municipio de Ahome. La extensión de la Bahía de

Topolobampo es de 6 000 ha (60 Km²) conectada con el Golfo de California a través de una boca de aproximadamente 3 Km de largo y la de la Bahía de Ohuira es de 125 Km², conectada con la Bahía de Topolobampo a través de un canal (Green, 2000). Se encuentran dentro de la clasificación I-C y II-A respectivamente (Lankford, 1997).

La bahía de Topolobampo recibe los efluentes urbanos e industriales generados en el mismo puerto. Alrededor de la laguna existe una población de 198 000 habitantes (incluida la población de los Mochis) (Green, 2000). Es un área muy seca en cuanto al clima, cálida con temperatura media anual mayor que 22 °C y la del mes más frío menor que 18°C, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 del total anual, siendo extremo con oscilación térmica entre 7 y 14 °C. Para la zona de Topolobampo, la temperatura promedio anual es de 24°C con la máxima en julio, mientras que la precipitación promedio anual es de 240.9 mm, siendo septiembre el mes más lluvioso (Green, 2000). La red hidrográfica de esta zona pertenece a la vertiente occidental de la Sierra Madre Occidental, en donde se presentan los ríos Fuerte y Sinaloa y algunos arroyos intermitentes que desembocan en el Golfo de California, a lo largo de los cuales se han construido presas de donde emanan un gran número de canales de riego. Algunos de estos canales desembocan en el sistema lagunar, además de tres drenes de aguas negras y de desechos industriales provenientes de la Ciudad de los Mochis (parcialmente), Topolobampo, Paredones, Lázaro Cárdenas y Juan José Ríos (Green, 2000). La Secretaría de Marina (Anónimo, 1990b) llevó a cabo un estudio sobre las corrientes en esta zona de estudio, observando que durante el flujo de mareas, la corriente se interna paralela al cauce del canal de navegación, disminuyendo desde la boca del sistema lagunar hacia las partes más someras. Una vez que el agua pasa por el canal que comunica a las dos lagunas se divide en dos pequeñas corrientes, una en dirección noreste hacia las regiones someras

de la laguna de Ohuira, mientras que para la región sureste de este cuerpo de agua, la corriente entrante fluye con dirección este-sureste, para después virar al noreste siguiendo el contorno de la costa.

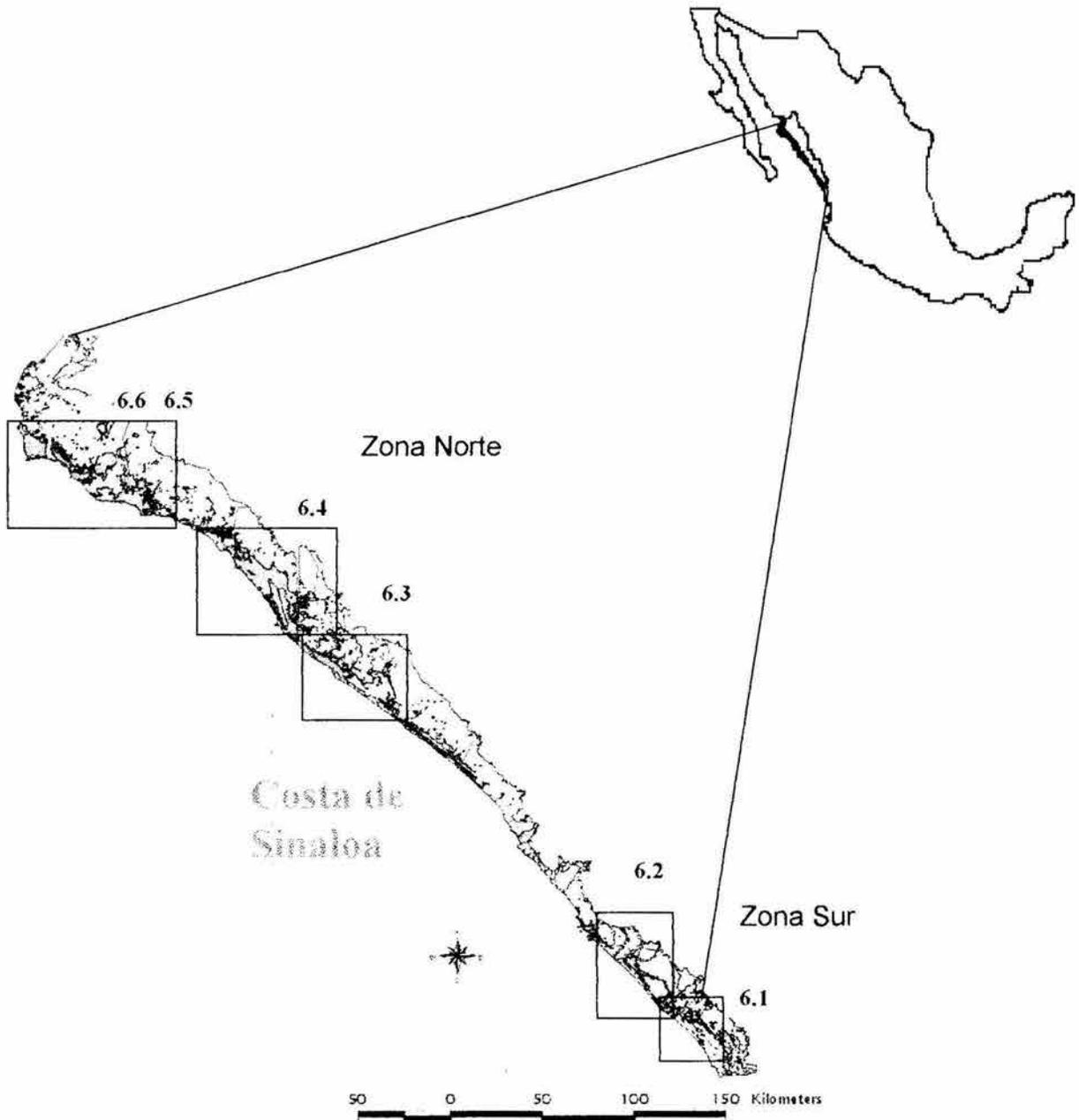


Figura 2. Zona costera del estado de Sinaloa (Esteros y Lagunas Interiores). Los números indican los cuerpos de agua donde se capturaron las aves y corresponden a la numeración anteriormente asignada en el texto.

Durante el reflujo, en la Bahía de Ohuira las corrientes fluyen en dirección sureste siguiendo el cauce del canal, para girar al suroeste en el estrecho que une a las lagunas, donde se incrementa la intensidad, para finalmente fluir hacia el suroeste sobre el canal de navegación (Green, 2000). Dentro de las actividades económicas realizadas alrededor de este complejo están; la agricultura de soya, maíz, sorgo, hortaliza, frijol y de arroz, se practica la pesca y la acuicultura. Este complejo se comunica con el mar a través de una boca de 3 Km localizada entre la isla santa María y Punta Copas. No se ubica ningún afluente importante en el área, sin embargo, en estas bahías descarga el drenaje colector principal de Benito Juárez, el cual transporta los residuos industriales, agrícolas y urbanos del poblado de Ahome. Alberga especies pesqueras como camarón, ostión, botete, róbalo, constantino, mojarra y pargo (Diario Oficial, 28 de agosto de 2000).

7. METODOLOGIA

7.1 Limpieza y preparación del material del laboratorio

Todo el material para transportar y guardar las muestras se lava previamente. Los lavados se hacen con agua corriente, solución jabonosa, enjuagues con agua corriente y agua purificada Milli-Q, y posteriormente un baño de HCl 2M por 72 horas, enjuague con agua destilada, otro baño con HNO₃ 2M durante 72 horas y un último enjuague con agua purificada-Milli-Q. Para una descripción detallada del procedimiento de lavado véase Moody y Lindstrom (1977). Una vez que el material se lavó, se secó a temperatura ambiente, queda listo para su utilización guardándose en un sitio libre de polvo y humedad. Debido a que los metales pesados normalmente se encuentran en los organismos en concentraciones bajas (de μg a ng g^{-1} dependiendo del elemento y el tejido de que se trate) cualquier descuido en la toma de la muestra y su manipulación puede alterar los resultados.

7.2 Recolección de organismos

La primera recolección de los diferentes organismos en los sitios de estudio se llevó a cabo entre noviembre y diciembre de 2001 y la segunda se realizó en febrero y marzo del 2002, en distintos puntos de la costa de Sinaloa, en cooperación con varios clubes de caza. Asimismo, con el objeto de comparar los sitios de muestreo, la costa de Sinaloa se dividió en zona sur, refiriéndose a el Sistema Litoral Majahual y a Huizache-Caimanero, y zona norte lo cual contempla el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, Bahía Santa María- La Reforma, Navachiste-San Ignacio-Macapule, Topolobampo-Ohuira (Figura 2).

Cabe mencionar que se obtuvieron aves de diferentes hábitos alimenticios, tanto residentes como migratorias. Asimismo, la identificación y el sexo, se realizó con la clave

de Peterson (1973), DUMAC (2002) y una guía para la identificación de anátidas (Carbonell y Garvin, 2002). Por lo que, una vez recolectadas las aves se introdujeron a bolsas de plástico de polietileno de 5 kg de capacidad, se transportaron en hileras al laboratorio y en el laboratorio antes de la disección, se almacenaron en un cuarto frío a -20° C (Figura 3).

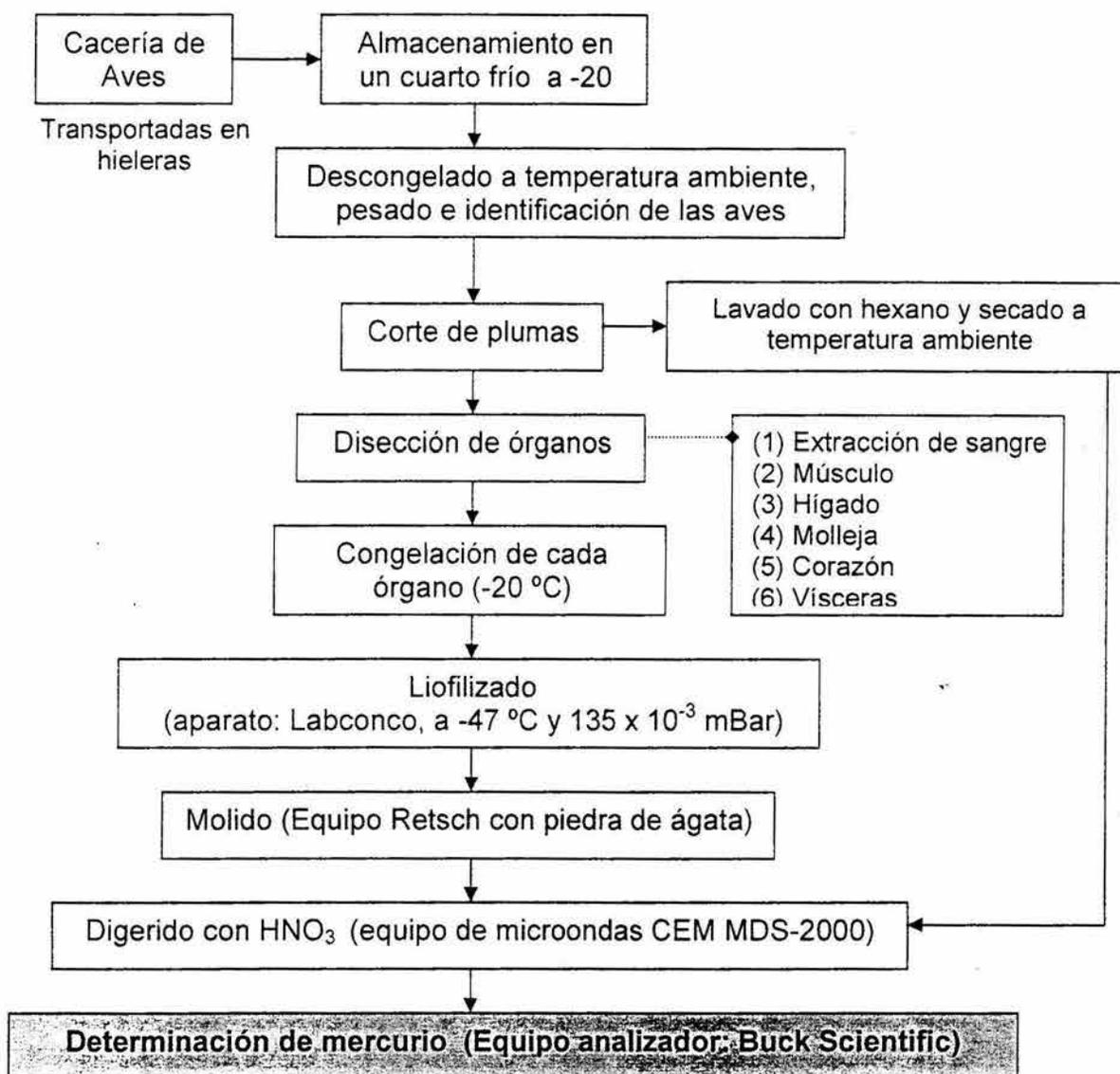


Figura 3 - Diagrama de Flujo para la preparación de las muestras y el análisis de Hg de los distintos tejidos.

7.3 Medición del peso

Todas las aves recolectadas una vez descongeladas a temperatura ambiente, se pesaron en una balanza granataria antes de iniciar su disección. El número de individuos por cada muestra de tejido no varió, ya que se utilizó un individuo por cada tejido, exceptuando en *A. discors*, en la cual fue necesario, en dos casos, juntar las muestras de sangre de dos individuos para complementar la cantidad de muestra requerida (0.25 g).

7.4 Disección de aves

Antes de empezar con la disección se preparó el bisturí con una navaja nueva de acero inoxidable, mismo que se utilizó para una sola especie y un mismo sexo, la disección de aves para el análisis de metales pesados, se realizó de acuerdo a los siguientes pasos:

- (1) Se fotografió cada especie (de la hembra y el macho en caso de ser diferente su aspecto). Cuidando, tener suficiente luz, y a una adecuada distancia la cámara y el zoom.
- (2) Se pesó y se tomó nota de las observaciones.
- (3) Se recolectó la sangre, cortando la cabeza y colocando boca abajo al ave, de manera que goteaba sobre una charola de plástico prelavada, y se registró el peso antes y después de la recolección. Con el bisturí, se hizo un corte en el músculo pectoral, y separó una porción en una charola prelavada y prepesada.
- (4) Una vez abierto el ejemplar, se separó el hígado con la ayuda del bisturí, y se colocó en una charola prelavada y prepesada. Se procedió a abrir la molleja y con cuidado se recolectó el contenido estomacal, mismo que se coloca en una charola prelavada y prepesada. Se registró el peso. Asimismo se registró el tipo de material encontrado.

- (5) Luego de separar el contenido estomacal, se procedió a extraer la molleja, y se le eliminan los residuos directamente con las manos (con guantes) y de manera tal que quedó libre de material, para ello al final se utilizó una piceta de agua purificada MilliQ. Al final, la molleja se colocó en una charola prepesada y prelavada y se registró el peso y los detalles de la molleja.
- (6) Al final el material se colocó (con las charolas tapadas) en el congelador con el fin de prepararlo para la liofilización.

7.5 Preparación de las muestras

Con excepción de las plumas, todas las muestras de los tejidos se liofilizaron durante 72 horas (-47°C y $133 \times 10^{-3}\text{ mBar}$) en un aparato Labconco. Las muestras liofilizadas se volvieron a pesar con la finalidad obtener el peso seco del tejido. Posteriormente, las muestras se molieron durante 10 min en un molidor automático (Retsch) equipado con mortero de ágata. Posteriormente, las muestras de los tejidos molidos y las plumas previamente separadas se digirieron en un equipo de microondas (CEM MDS-2000), utilizando 0.25 g de la muestra y 5 ml de HNO_3 concentrado, vertidos en un vial de teflón. Cabe mencionar, que por cada 23 muestras se llevó a cabo un blanco (únicamente con ácido nítrico concentrado), las condiciones de operación se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de operación del equipo de digestión por microondas.

Condiciones	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
% de potencia	90	90	90
Presión (lb/pulg ²)	20	40	90
Tiempo (min.)	10	10	30

7.6 Análisis de las muestras

Para el análisis de las muestras se utilizó el procedimiento propuesto por Hatch y Ott (1968), modificado por Loring y Rantala (1995); cuya técnica consiste fundamentalmente en descomponer la materia orgánica contenida con HNO_3 y vaporización por reducción al mercurio contenido en una muestra en solución. Así, el Hg divalente de la muestra en solución se reduce con cloruro estanoso (SnCl_2) a Hg elemental; el vapor producido es conducido a la celda del equipo analizador Buck Scientific donde se mide la absorbancia. Previamente, por cada día de medición o después de 25 mediciones, el equipo se ajustó y se corrió un estándar (agregando 1 ml de solución patrón de una concentración de 0.1 $\mu\text{g/ml}$ de mercurio), cuando se producía variación en la absorbancia se corrían varios estándares para elaborar una curva.

Las muestras digeridas almacenadas en los frascos de plásticos se colocan en una botella de vidrio (300 ml), la cual se afora a 100 ml con agua desionizada (Milli-Q) y se homogeniza. Después de esto, se conecta al aereador en frasco y se añaden 3 ml de la solución del cloruro estanoso con ayuda de una jeringa desechable (10 ml ó 5 ml). Inmediatamente después se enciende la bomba del aereador y se observa la lectura en el registrador. Una vez que llega a estabilizada la lectura se lee el dato proporcionado por el aparato.

La solución reductora de mercurio divalente a mercurio elemental se preparó disolviendo 5 g de cloruro estanoso en 10 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl), y esto se afora a 50 ml con agua desionizada.

7.7 Precisión y exactitud del análisis

Con el objeto de revisar el procedimiento analítico utilizado, se analizó el material de referencia certificado MA-B-3/TM, el cual corresponde a músculo de pez seco (IAEA, 1987). Cabe mencionar que la utilización del material de referencia permite a los laboratorios revisar sus procedimientos analíticos y validar sus resultados, aún cuando se utilicen diferentes técnicas (IAEA, 1987). Además se llevó a cabo el cálculo del coeficiente de variación en tejidos y muestras elegidas aleatoria mente.

7.8 Cálculos de la concentración de mercurio en los distintos tejidos

Posteriormente se realizarán los cálculos correspondientes para conocer la concentración de mercurio considerando el peso de la muestra digerida, el volumen de aforo de la solución de digestión y la lectura en el equipo analizador. La concentración de mercurio en ng/g (en peso seco) y se calculó según la siguiente ecuación:

$$\text{ng de Hg/g} = [(L.M. - L.B.)/PT] * 1000$$

Donde:

L.M. = Lectura de la muestra en el aparato (en μg)

L.B. = Lectura del Blanco (en μg)

P.T. = Peso total del tejido seco (en g).

7.9 Análisis estadístico

Las concentraciones de mercurio encontradas fueron agrupadas por especie y por tejido para obtener los promedios, las desviaciones estándar generales. Asimismo fueron agrupadas según el sexo para obtener los promedios y las desviaciones estándar, además se agruparon según la zona de captura (Norte y Sur de las costas de Sinaloa) y según la época de captura (arribo y partida).

El análisis estadístico para realizar las comparaciones y las correlaciones entre los tejidos de las aves acuáticas estudiadas se llevó a cabo a través del programa estadístico Statistica 3.0 (1995), primeramente en las comparaciones se llevó a cabo la prueba de homocedasticidad mediante la prueba C-Corach (Zar, 1984), después al no presentarse homocedásticos los datos obtenidos, se transformaron a logaritmo natural (lo cual ocurrió para todos los casos) y se llevó a cabo de nuevo la prueba C-Corach, encontrando que solo para *A. acuta* los datos no se presentaron homocedásticos nuevamente y se asumió que a partir de esta conversión los datos en esta especie se tornaron homocedásticos, posteriormente se establecieron comparaciones a partir del análisis de varianza (ANOVA de una vía), mediante la Prueba Post hoc de Probabilidad: Duncan test, para comparaciones múltiples y la prueba de Pearson r para correlaciones estableciendo una $p < 0.05$ en ambos casos (Zar, 1984).

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Procedencia y aspectos biológicos de las aves capturadas

Se colectaron un total de 209 ejemplares que comprenden 9 especies distintas de aves acuáticas migratorias y residentes, en su mayoría pertenecientes a la familia Anatidae (orden Anseriformes) y una a la familia Phalacrocoracidae (orden Pelicaniformes) (Mejia-Sarmiento y Hendrickx, 1994); 96 fueron cazadas durante los días de la última semana de noviembre y primera semana de diciembre de 2001, época en que las aves migratorias llegan luego de realizar el vuelo desde el Norte de América hacia el sur (en el arribo a las costas de Sinaloa) y el resto (114) cuando están por regresar (vuelo de partida) en la última semana de febrero. Fueron colectadas 111 aves (61 y 50 en la época de arribo y época de partida respectivamente), en la costa sur de Sinaloa (principalmente en el Sistema litoral Majahual y Huizache-Caimanero); en la zona norte de la costa de Sinaloa (Altata-Ensenada del Pabellón, Santa María La Reforma, Navachiste-San Ignacio-Macapule y Topolobamdo-Ohuira), fueron capturados 35 organismos en el arribo y 64 en la época de partida de distintas especies de aves migratorias y residentes (Tabla 2 y 3).

De acuerdo a los grupos taxonómicos a los que pertenecen la mayoría de las aves capturadas, se puede decir que en la familia Anatidae hay 8 tipos de tribus (Peterson y Chalif, 1989): (1) Patos silbadores, (2) Cisnes, (3) Gansos, (4) Patos "trepadores", (5) Patos que se alimentan en la superficie, (6) Patos buceadores, (7) Patos marinos y (8) Patos de cola tiesa. De las cuales, una especie, *Dendrocygna autumnalis* pertenece al grupo 1, seis especies colectadas, *Anas clypeata*, *Anas crecca*, *Anas discors*, *Anas acuta*, *Anas cyanoptera* y *Anas americana*, pertenecen al 5 y *Aythya affinis* al grupo 6. El alimento para las aves de esta familia consiste principalmente de plantas acuáticas, semillas, pastos, pequeños animales acuáticos, insectos, peces, moluscos, crustáceos, aunque algunas se

especializan en su alimento. Por su parte, los cormoranes (*Phalacrocorax sp.*), se alimentan principalmente de peces, anfibios, crustáceos y están distribuidos por casi todo el mundo, al igual que las Anátidas (Peterson y Chalif, 1989). Los pesos así como las tallas varían de manera notoria según la especie y el sexo en las aves acuáticas aún cuando pertenecen a una misma familia. En la tabla 4, se presentan los pesos por especie y una referencia según el peso de las aves en su etapa adulta.

Por otro lado, cabe mencionar que de acuerdo a lo establecido por la Ley Federal para la Caza por medio de la Secretaría de Desarrollo Social (1993), en la NOM-054-ECOL-1994, se establece que las aves utilizadas en este estudio, no están consideradas como especies en peligro de extinción, endémicas, raras, amenazadas o sujetas a protección especial. Por su parte, también cabe destacar que según lo establecido por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (www.conabio.gob.mx), 4 de los sistemas lagunares de donde se colectaron las aves para este estudio pertenecen a Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS): Bahía Navachiste (Clave AICA NO-93), Bahía Santa María (Clave AICA NO-94), Ensenada del Pabellón (Clave AICA NO-67) y Sistema Lagunar Huizache-Caimanero (Clave AICA NO-69) (Mejía-Sarmiento, 2001).

8.2 Confiabilidad y calidad analítica

Los valores de mercurio encontrados (0.55 y 0.58 μg de Hg/g) en el material de referencia elaborado a partir de músculo de pez liofilizado MA-B-3/TM (IAEA, 1987), fueron satisfactorios, pues quedaron dentro del intervalo de confianza establecido (0.47 – 0.61 μg de Hg/g) por la IAEA (1987), lo cual permitió revisar el procedimiento analítico utilizado en este estudio y validar sus resultados.

Tabla 2. Aves acuáticas recolectadas durante la época de arribo (noviembre y diciembre de 2001) en la costa de Sinaloa.

Lugar de captura	Nombre común	Nombre científico*	Sexo	No. de individuos	Peso (g)	
					Prom.	D E
Sur de Sinaloa: Sistema Litoral Majahual, Huizache Caimanero	-Pato cucharón	<i>Anas clypeata</i>	H	11	451	188
		<i>Anas clypeata</i>	M	7	565	81
	-Cerceta café**	<i>Anas cyanoptera</i>	H	2	371	1
	ó aliazul café*	<i>Anas cyanoptera</i>	M	3	378	15
	-Cerceta	<i>Anas crecca</i>	H	5	305	27
	aliaoscuro ó ala verde**	<i>Anas crecca</i>	M	9	343	28
	-Pato chalcuán*	<i>Anas americana</i>	H	2	584	32
		<i>Anas americana</i>	M	2	820	92
	-Cerceta aliazul clara*	<i>Anas discors</i>	H	4	393	41
		<i>Anas discors</i>	M	2	389	30
	-Pato golondrino*	<i>Anas acuta</i>	H	6	722	72
		<i>Anas acuta</i>	M	6	1019	133
	-Pato boludo menor*	<i>Aythya affinis</i>	H	2	596	54
Norte de Sinaloa: Santa María-La Reforma, Altata-Ensenada del Pabellón, Navachiste, San Ignacio, Macapule, Topolobampo-Ohuira	-Pato cucharón	<i>Anas clypeata</i>	H	4	533	5
		<i>Anas clypeata</i>	M	3	639	7
	-Pato golondrino	<i>Anas acuta</i>	H	2	839	81
		<i>Anas acuta</i>	M	6	952	192
	-Cerceta	<i>Anas crecca</i>	H	2	328	24
	aliaoscuro ó ala verde	<i>Anas crecca</i>	M	5	363	25
	-Cerceta aliazul	<i>Anas cyanoptera</i>	H	2	351	33
	café	<i>Anas cyanoptera</i>	M	7	417	22
	-Pato Pijije	<i>Dendrocygna</i>	NI	4	795	65
	aliblanco* ó Pichilgüila**	<i>autumnalis</i>				

* Según Peterson (1989). ** Nombre común en la localidad. H, hembra. M, macho. NI, No identificado. Prom. Promedio. D E, Desviación estándar.

Tabla 3. Aves colectadas durante la época de partida (febrero y marzo de 2002) en las costas de Sinaloa.

Lugar de captura	Nombre común	Nombre científico*	Sexo	No. de individuos	Peso (g)	
					prom	D E
Sur de Sinaloa:	-Cerceta	<i>Anas crecca</i>	H	9	318	49
Huizache	aliaoscuro ó ala verde**	<i>Anas crecca</i>	M	4	323	25
Caimanero	-Pato cucharón*	<i>Anas clypeata</i>	H	6	572	65
		<i>Anas clypeata</i>	M	6	579	49
	-Pato Pijije Aliblanco* ó Pichilgüila**	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	N I	2	759	7
	-Cerceta aliazul clara*	<i>Anas discors</i>	H	5	333	44
		<i>Anas discors</i>	M	9	385	19
	-Cerceta aliazul café	<i>Anas cyanoptera</i>	M	1	393	-
	-Pato golondrino	<i>Anas acuta</i>	M	1	757	-
	-Pato boludo menor*	<i>Aythya affinis</i>	H	1	861	-
		<i>Aythya affinis</i>	M	2	533	54
	-Pato chalcuán	<i>Anas americana</i>	H	4	593	121
Norte de Sinaloa:	-Pato cucharón*	<i>Anas clypeata</i>	H	7	531	65
		<i>Anas clypeata</i>	M	8	520	200
Santa María-La Reforma,	-Cerceta aliazul café	<i>Anas cyanoptera</i>	H	1	388	-
Altata-		<i>Anas cyanoptera</i>	M	3	345	29
Ensenada del Pabellón,	-Cerceta	<i>Anas crecca</i>	H	6	298	13
Navachiste,	aliaoscuro ó ala verde**	<i>Anas crecca</i>	M	3	258	132
San Ignacio,	-Pato golondrino*	<i>Anas acuta</i>	H	2	701	155
Macapule,		<i>Anas acuta</i>	M	3	965	56
Topolobampo-	-Pato chalcuán*	<i>Anas americana</i>	H	4	597	61
Ohuira		<i>Anas americana</i>	M	3	718	60

(Tabla 3. Continuación)

-Cerceta aliazul clara	<i>Anas discors</i>	H	8	338	25
	<i>Anas discors</i>	M	8	402	72
-Pato boludo menor	<i>Aythya affinis</i>	H	2	804	81
	<i>Aythya affinis</i>	M	1	413	-
-Cormorán oliváceo*	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	NI	5	925	39

*Según Peterson (1989), ** Nombre común en la localidad. H, hembra. M, macho. NI, No identificado.

Tabla 4. Pesos comunes en adultos de las especies capturadas.

Especie	Sexo	Peso común en adultos (g)
<i>A. clypeata</i>	Hembra	470 a 1000 ^a
	Macho	470 a 800 ^a
<i>A. crecca</i>	Hembra	272 ^b
	Macho	318 ^b
<i>A. discors</i>	Hembra	363 ^b
	Macho	454 ^b
<i>A. acuta</i>	Hembra	454 a 1362 ^c
	Macho	454 a 1135 ^c
<i>A. cyanoptera</i>	Hembra	340 ^d
	Macho	340 ^d
<i>A. americana</i>	Hembra	665 a 1330 ^e
	Macho	665 a 1330 ^e
<i>A. affinis</i>	Hembra	748 ^b
	Macho	826 ^b
<i>D. autumnalis</i>	Hembra	817 ^b
	Macho	817 ^b

^a - Goodes y Boyer (1986). ^b - Carbonell M. y Garvin J., (2002),
^c - Bellrose 1980; Gooders y Boyer (1986); Soothill y Whitehead (1988), ^d - Gammonley, 1996. ^e - Mowbray, 1999.

A partir de los datos de análisis del mercurio en los distintos tejidos se obtuvieron el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación (CV); este último se obtuvo haciendo seis repeticiones de la determinación de mercurio en el músculo, hígado y molleja correspondiente a muestras en las que se lograron detectar las concentraciones medias de mercurio representativas con respecto al total de las muestras de cada tejido de especies elegidas de manera aleatoria. Lo cual se calculó dividiendo la desviación estándar entre el promedio y el total multiplicando por 100 (Reyes-Castañeda, 1990), resultando que para el músculo en *Anas clypeata* el CV fue de 5.1 %, en el Hígado en *Anas discors* fue de 6.2 % y en la Molleja de de *Phalacrocorax brasilianus* 5.7 %. Además se hicieron blancos por cada 23 muestras digeridas lo cual permite detectar cualquier tipo de contaminación en el análisis.

8.3 Distribución de mercurio en los diferentes tejidos

En la mayoría de las especies analizadas las concentraciones promedio de mercurio más altas se presentaron en el hígado (*A. clypeata*, 2885 ng de Hg/g; *A. crecca*, 1172 ng de Hg/g; *A. discors*, 2127 ng de Hg/g; *A. acuta*, 1756 ng de Hg/g; *A. americana*, 1229 ng de Hg; *A. affinis* ng de Hg/g y *P. brasiliensis* 4052 ng de Hg/g), a excepción de la pichigüila y la cerceta café (*D. autumnalis* y *A. cyanoptera*) que presentaron la mayor concentración en plumas (289 y 1452 ng de Hg/g, respectivamente). Seguido del hígado, el tejido donde se encontraron los niveles de mercurio más elevados fueron las plumas, aunque en la cerceta café y la pichigüila esto se dio de manera inversa (plumas y después hígado); por su parte, en el Cormorán Oliváceo la sangre fue el tejido que acumuló más Hg en promedio después del hígado. Sin embargo, las diferencias de las medias calculadas entre los distintos tejidos no resultaron ser estadísticamente significativas en la mayoría de los casos (véase Anexo 1, Tabla 1).

Por otro lado, la concentración promedio de Hg más baja se presentó en las vísceras de *A. clypeata* (585 ng de Hg/g), *A. discors* (590 ng de Hg/g), *A. acuta* (316 ng de Hg/g) y *P. brasiliensis* (1041 ng de Hg/g), en otras especies fue en el músculo (*A. crecca*, 319 ng de Hg/g y *D. autumnalis*, 46 ng de Hg/g). En *A. cyanoptera* así como en *A. americana* el tejido donde acumularon menos mercurio fue el corazón (325 y 373 ng de Hg/g) y en *A. affinis* por su parte en la Molleja (493 ng de Hg/g). Por lo que se puede decir que en los tejidos analizados donde menos se acumula el mercurio de las aves sujetas a este estudio, varía según la especie, entre las vísceras, el músculo, la molleja y el corazón. Por lo contrario, el hígado, las plumas y la sangre son los tejidos en que más se acumula este elemento. Los promedios (\pm desviación estándar) y el resultado de la prueba estadística aplicada para comparar los niveles de concentración del metal en cuestión entre los diferentes tejidos, son

presentados en la Tabla 1 del Anexo 1. Particularmente los distintos tejidos de *A. clypeata* presentan un patrón de distribución de mayor a menor concentración en promedio de la siguiente forma (vease promedios y columna de niveles de concentración en Anexo 1, Tabla 1):

(1) hígado > (2) plumas > (3) sangre > (4) corazón > (5) músculo > (6) molleja > (7) vísceras.

No obstante, las diferencias entre las plumas y el hígado no resultaron estadísticamente significativas a un valor de $p < 0.05$. De la misma manera, entre el corazón y el músculo, la molleja y las vísceras, el corazón y la sangre no se tuvieron diferencias significativas (Anexo 1, Tabla 1).

En *A. crecca* por su parte, se distribuye el mercurio de la siguiente forma:

(1) hígado > (2) plumas > (3) sangre > (4) corazón > (5) molleja > (6) vísceras > (7) músculo.

Se encontraron diferencias significativas solamente entre el hígado y las plumas con el resto de los tejidos, aunque entre estos dos tejidos no, además entre el músculo y la sangre también se encontró diferencia importante en la acumulación del metal en cuestión (Anexo 1, Tabla 1).

Por su parte, en *A. discors* el metal líquido se distribuye de acuerdo a la concentración promedio encontrada en los distintos tejidos analizados, de la siguiente forma (Anexo 1, Tabla 1):

(1) hígado > (2) plumas > (3) sangre > (4) músculo > (5) molleja > (6) corazón > (7) vísceras

Para este caso, las diferencias significativas ($p < 0.05$) la presentan las plumas, el hígado y la sangre, con el resto de los tejidos. Sin embargo, la prueba estadística aplicada para la comparación de la concentración promedio entre las plumas y el hígado no da

diferencias significativas entre ambos, lo cual no ocurre con la sangre ya que es estadísticamente diferente a estos dos tejidos.

El Pato Golondrino (*A. acuta*), acumula en promedio al Hg de mayor a menor grado, del siguiente modo:

(1) hígado > (2) plumas > (3) sangre > (4) músculo > (5) corazón > (6) molleja > (7) vísceras

En este caso las desviaciones estándar en cada uno de los tejidos, en esta especie son las más altas comparadas con el resto de las especies, sin embargo las comparaciones realizadas con el análisis estadístico ANOVA, al igual que en los casos anteriores no evidencia diferencias entre las plumas y el hígado, pero si hay diferencias con el resto de los tejidos. Las vísceras por su lado, se encontró como el tejido con la concentración de Hg estadísticamente más baja, comparado con los demás tejidos analizados. Entre el resto de los tejidos no se registran diferencias significativas para esta ave. Estas elevadas desviaciones estándar revelan una gran variación entre los individuos de *A. acuta*, lo cual no se presenta en las demás aves.

En la cerceta café (*A. cyanoptera*) el Hg se distribuye de manera un poco diferente al resto de las aves:

(1) plumas > (2) hígado > (3) músculo > (4) molleja > (5) sangre > (6) vísceras > (7) corazón

Según la prueba estadística aplicada (Anexo 1, Tabla 1), no existen diferencias significativas entre la concentración de Hg en el hígado y las plumas, pero sí de estos dos tejidos con el resto.

En el pato Chalcuán (*A. americana*) el Hg se distribuye, como se muestra a continuación:

(1) hígado > (2) plumas > (3) músculo > (4) molleja > (5) sangre > (6) vísceras > (7) corazón

Sin embargo la mayoría de los promedios no son estadísticamente diferentes entre sí según la ANOVA aplicada, ya que solo se presentan diferencias en la concentración de Hg en el hígado con la sangre y con el corazón.

Se capturaron 8 ejemplares en total del pato buzo, comúnmente llamado pato boludo (*A. affinis*), el cual acumula mercurio según la media (Anexo 1, Tabla 1), en los distintos tejidos estudiados de la siguiente manera:

(1) hígado > (2) plumas > (3) sangre > (4) corazón > (5) vísceras > (6) músculo > (7) molleja

Para este organismo, solo se presentan diferencias significativas entre el hígado y los siguientes tejidos analizados músculo, molleja, vísceras y corazón.

Una de las aves residentes capturadas, con la cual solo se contó con 6 ejemplares es el Pato pichigüila (*D. autumnalis*), que además presenta los promedios más bajos de concentración de Hg y acumula al metal de manera muy diferente en relación al resto de las especies estudiadas. Esta ave presenta la siguiente distribución de Hg, de mayor a menor:

(1) plumas > (2) hígado > (3) corazón > (4) sangre > (5) molleja > (6) vísceras > (7) músculo

Sin embargo, según la prueba estadística aplicada la pichigüila presenta diferencias importantes solamente entre las plumas y tres tejidos de manera independiente, el músculo, la molleja y las vísceras.

En el hígado del Cormorán Oliváceo se encontró el nivel de concentración promedio más alto de Hg (Anexo 1, Tabla 1), además es el único tejido en esta especie, en el cual se encontró diferencia significativa en comparación con la mayor parte del resto de los tejidos analizados, con el músculo, la molleja, las vísceras y el corazón. La distribución con base al promedio encontrado en los organismos capturados de esta especie resultó:

(1) hígado > (2) sangre > (3) plumas > (4) corazón > (5) molleja > (6) músculo > (7) vísceras

El Cormorán Oliváceo es otra especie residente de Sinaloa, aunque a diferencia del resto de las aves investigadas, pertenece a otra familia de aves acuáticas y además la alimentación de este organismo es de un nivel más alto en la cadena trófica. Por esta razón posiblemente, los niveles de concentración promedio encontrados (Anexo 1, Tabla 1), se presentan en general más altos en esta especie.

En relación a las tendencias que se presentan en la distribución de mercurio en los distintos tejidos de las aves estudiadas, cabe mencionar que intervienen varios procesos de origen fisiológico y bioquímico, por ejemplo, el mercurio después de ser absorbido se ioniza rápidamente solubilizándose en los líquidos con reacción neutra, lo que le permite atravesar con facilidad las membranas celulares y depositarse en los órganos ricos en lipoides (cerebro, hígado, pulmón, riñón y corazón). El mercurio elemental tiene una alta liposolubilidad y en la sangre se oxida rápidamente a Hg^{2+} , atravesando rápidamente la barrera hematoencefálica, donde grandes cantidades de mercurio son retenidas en el sistema nervioso central por oxidación de Hg^{2+} (Picazo-Sánchez & Fernández-Vozmediano, 1995). Compuestos como el metil mercurio, al unirse selectivamente a las proteínas del sistema nervioso central, afectan las neuronas del cerebro y provocan daños morfológicos, electrofisiológicos y bioquímicos en el sistema nervioso central (Marcus, 1977). La afinidad del mercurio por los grupos sulfhídricos inhibe una amplia variedad de enzimas y mecanismos de transporte de proteínas, además puede formar enlaces con grupos como las aminas o carboxilos (Picazo-Sánchez y Fernández-Vozmediano, 1995).

En este estudio se puede notar, que la mayor parte de las aves, acumulan preferencialmente el Hg en el hígado, esto posiblemente esta relacionado a una combinación de factores tales como diferente distribución de proteínas específicas, el

transporte de mercurio en una base diferencial de órganos particulares y peculiaridad del transporte de mercurio a través de ciertas barreras celulares (Satorfelli et al., 1998; Arvizu-Merín, 2003). Cabe mencionar que de acuerdo con la literatura existe un grupo de proteínas de bajo peso molecular considerablemente relacionado con la distribución del Hg en los organismos estudiados, denominado metalotioeínas, ricos en grupos sulfhidrilos, que tienen una afinidad elevada por el mercurio (Leyshon-Sorland et al., 1994).

El mercurio ingerido es rápidamente absorbido por el tracto intestinal (Serafin, 1984). Una vez que el mercurio entra al organismo, su distribución depende de la corriente sanguínea y la concentración alcanzada depende de las velocidades relativas de los procesos de distribución y eliminación, que tienen lugar simultáneamente (Baggot, 1986; Pokras et al., 1998). Aunque la sangre constituye el medio fisiológico de translocación e intercambio de mercurio para todos los tejidos, el flujo desde la sangre a los diversos tejidos varía ampliamente en el organismo (Wickliffe y Bickham, 1998; Van Wyk *et al.*, 2001). De allí que por medio de la sangre se esté distribuyendo mercurio a los distintos tejidos en los cuales se detectó la presencia del mercurio en las aves estudiadas.

Los contaminantes ambientales pueden bioacumularse con el tiempo hasta alcanzar niveles tóxicos, a menos que el organismo tenga la capacidad de desintoxicación o de excreción (Gochfeld y Burger, 1998). Las aves presentan varios mecanismos de eliminación de mercurio para contrarrestar los altos niveles de concentración, siendo los más importantes las heces, las plumas, los huevos y la biomineralización del mercurio en el hígado (Burger, 1993; Swiegorsz, 1998). Es importante destacar, que los niveles elevados de Hg en el hígado se relacionan con la presencia de gránulos minerales (tiemanita), los

cuales se originan a partir del enlace Hg-Se, a esto se le denomina proceso de biomineralización del Se (Nigro y Leonzio, 1996).

En la mayoría de las aves analizadas en este estudio, se encontró que el mercurio presentó una marcada tendencia a acumularse en las plumas, ya que es el tejido que más acumula Hg después del hígado. En este tejido el mercurio se acompleja por medio de enlaces sulfhidrilos de la keratina durante la formación de la pluma (Furness et al., 1986, Lewis et al., 1993); además, una vez que esta es formada, esta se aísla fisiológicamente de los otros tejidos y su contenido de mercurio permanece constante a los cambios subsecuentes (Walsh, 1990).

Diversos autores (Parslow et al., 1973; Honda et al., 1985; Braune, 1987; Burger y Gochfeld, 1997; Saeki et al., 2000), señalan que las aves eliminan el mercurio por medio de las plumas, mecanismo que ha demostrado ser una importante ruta de excreción en estos organismos (Braune, 1987; Nigro & Leonzio, 1996), a través del cual, pueden eliminar hasta el 90% de su carga de Hg acumulado (Furness et al., 1986; Honda et al., 1986, Braune, 1987; Burger & Gochfeld, 2001), por lo tanto son capaces de transferir mercurio a sus plumas y perder mercurio cuando mudan (Doi & Fukuyama, 1986). Particularmente, los patos cambian de plumaje dos veces al año (DUMAC, 2002), por tal motivo se puede pensar que los niveles de mercurio que se encontraron en las plumas en este estudio, son más bajos que en el hígado en la mayoría de las especies capturadas, ya que eliminan el metal en cada muda, es decir dos veces al año, lo cual podría no permitir acumular mayores concentraciones de mercurio en las plumas que el hígado.

Las concentraciones de mercurio de las plumas reflejan el metil mercurio circundante en la sangre en el tiempo del crecimiento de la pluma (Burger *et al.*, 1997; Arivizu-Merín, 2003), mientras que la concentración total de mercurio en la sangre está en función de la cantidad de mercurio contenido en la dieta (Thompson & Dowding, 1999).

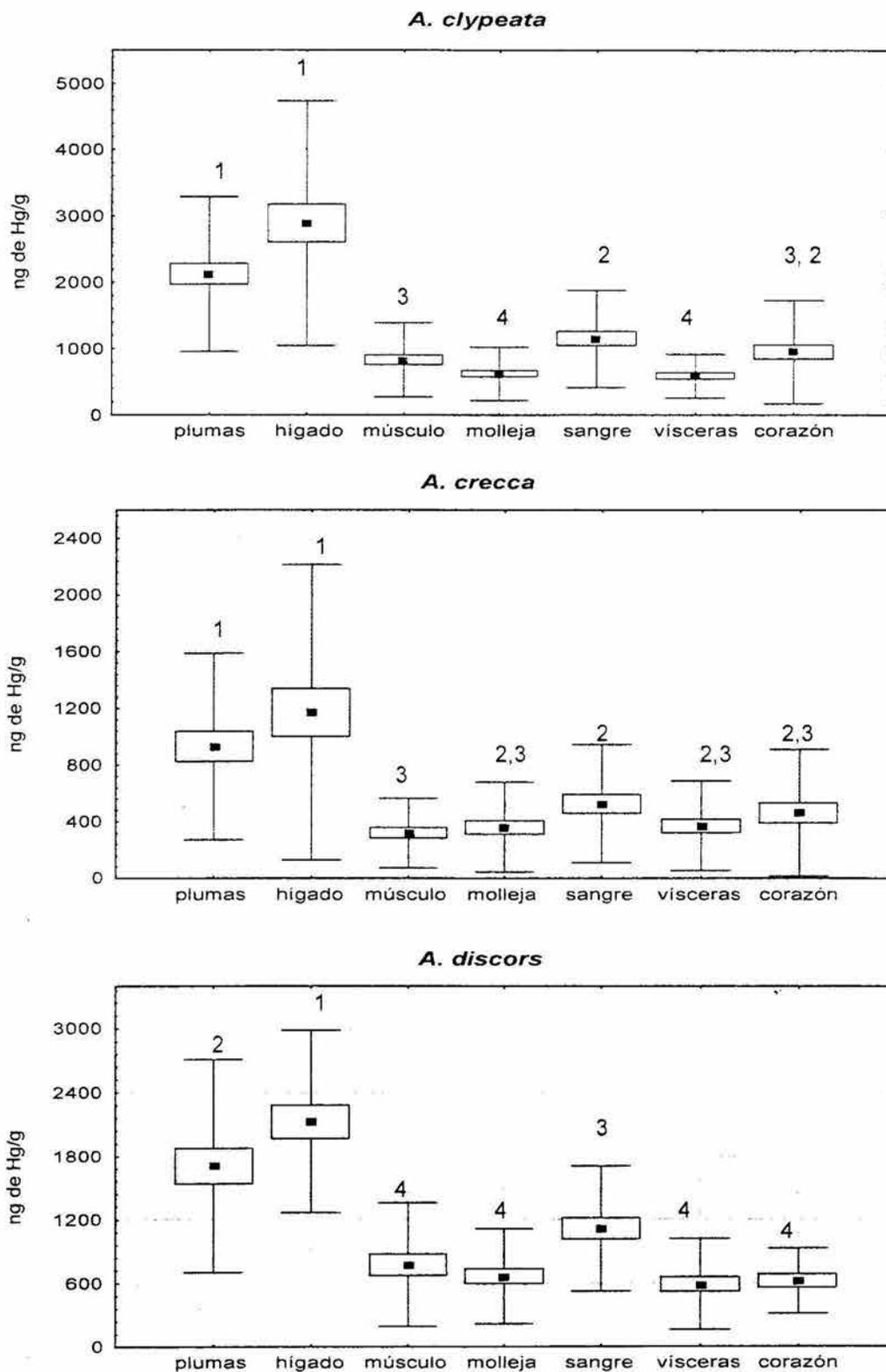


Figura 4a. Concentración de Hg, en tejidos de *A. clypeata*, *A. crecca* y *A. discors*. El cuadro relleno indica el promedio, el cuadro más grande sin relleno el error estándar y las líneas en forma de T representan la desviación estándar (DE). Los números sobre las DE indican niveles diferentes de concentración de Hg (números iguales indican que no hay diferencias significativas entre los tejidos).

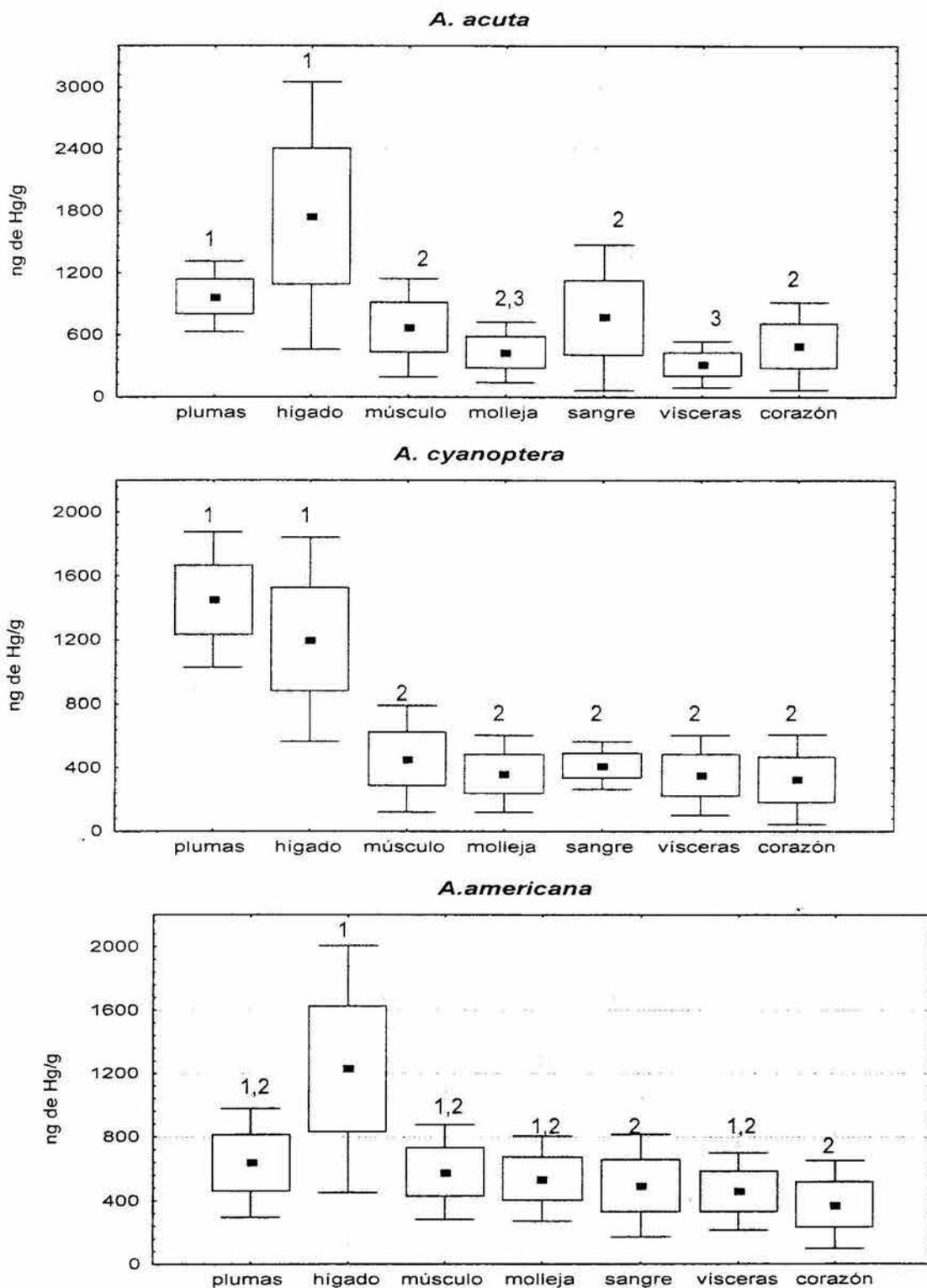


Figura 4b. Concentración de Hg, en tejidos de *A. acuta*, *A. cyanoptera* y *A. americana*. El cuadro relleno indica el promedio, el cuadro más grande sin relleno el error estándar y las líneas extendidas en forma de T representan la desviación estándar. Los números iguales dentro de las gráficas, indican los tejidos en los cuales no se presentan diferencias significativas con respecto al resto.

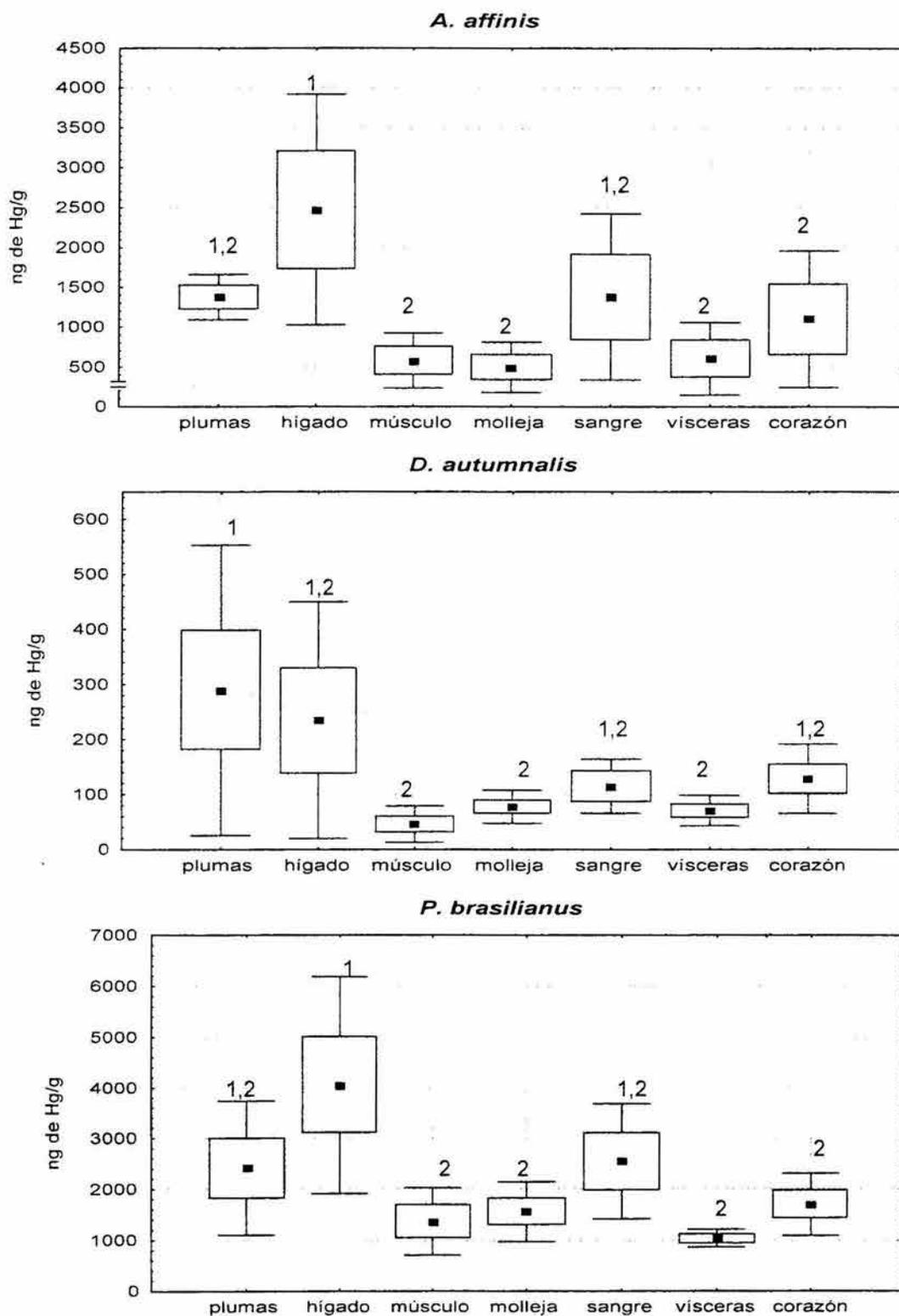


Figura 4c. Concentración de Hg, en tejidos de *A. affinis*, *D. autumnalis* y *P. brasilianus*. El cuadro relleno indica el promedio, el cuadro más grande sin relleno el error estándar y las líneas extendidas en forma de T representan la desviación estándar. Los números iguales dentro de las gráficas, indican los tejidos en los cuales no se presentan diferencias significativas con respecto al resto.

8.4 Niveles de concentración de Hg según el sexo de las aves

De acuerdo a los resultados obtenidos al promediar la concentración de Hg en hembras y machos de las distintas aves en cada uno de los tejidos analizados (Anexo 1, Tabla 2), se puede observar de manera muy general, que el sexo no es una variable que resulte significativa para establecer un patrón de acumulación de este metal en la mayoría de los tejidos analizados de las distintas aves examinadas.

En el pato cucharón (*A. clypeata*), se presentó cierta tendencia a acumular más mercurio en machos que en hembras en casi todos los tejidos analizados: en las plumas (machos, 2437; hembras, 1871 ng de Hg/g), hígado (machos, 3277; hembras, 2530 ng de Hg/g), músculo (machos, 856; hembras, 807 ng de Hg/g), sangre (machos, 1232; hembras, 1078 ng de Hg/g), vísceras (machos, 849; hembras, 599 ng de Hg/g) y corazón (machos, 1091; hembras, 569 ng de Hg/g), solamente en la molleja se presentó mayor acumulación en hembras que en machos (hembras, 626; machos, 615 ng de Hg/g), no obstante tales diferencias no resultaron estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en ninguno de los tejidos analizados (Anexo 1, Tabla 2).

En *A. crecca*, al contrario que en *A. clypeata* se presentó una mayor acumulación del metal analizado en hembras en casi todos los tejidos, excepto en las plumas, en las cuales aunque no de manera estadísticamente significativa, se presentó mayor concentración en promedio en machos (machos, 936; hembras, 924 ng de Hg/g). En el hígado (hembras, 1235; machos, 1114 ng de Hg/g), las vísceras (hembras, 429; machos, 309 ng de Hg/g) y el corazón (hembras, 555; machos, 389 ng de Hg/g) aún cuando se distingue cierta tendencia a concentrar más Hg en Hembras, de acuerdo con la prueba estadística realizada las diferencias no resultaron significativas (Anexo 1, Tabla 2), sin embargo, en el músculo

(hembras, 400; machos, 238 ng de Hg/g), la molleja (hembras, 411; machos, 314 ng de Hg/g) y la sangre (hembras, 651; machos, 414 ng de Hg/g) la acumulación de Hg en las hembras resultó estadísticamente más alta que en los machos (Figura 5).

En la mayoría de los tejidos analizados del pato cerceta ala azul (*A. discors*), se presentó en promedio más mercurio en las hembras que en los machos, al igual que en el caso anterior, sin embargo esta tendencia no resultó significativa para ningún caso (Anexo 1, Tabla 2). En esta especie se presentó dicha tendencia en el hígado (hembras, 2415; machos, 1875 ng de Hg/g), el músculo (hembras, 923 ; machos, 640 ng de Hg/g), la molleja (hembras, 720; machos, 621 ng de Hg/g), la sangre (hembras, 1178; machos, 1062 ng de Hg/g), las vísceras (hembras, 665; machos, 524 ng de Hg/g) y el corazón (hembras, 629 ; machos, 617 ng de Hg/g); solamente en las plumas no se presentó de esa manera (machos, 1723; hembras, 1689 ng de Hg/g), aunque la diferencia de concentración del metal en este último tejido entre los dos sexos no resultó tampoco estadísticamente significativa.

En el pato golondrino (*A. acuta*), las mayores concentraciones de Hg se presentaron en los machos en la mayor parte de los tejidos. De manera contraria al caso anterior, la mayor concentración en hembras solo se presentó en las plumas (hembras, 1298; machos, 824 ng de Hg/g) y en el hígado (machos, 2259; hembras, 687 ng de Hg/g), el músculo (machos, 902; hembras, 146 ng de Hg/g), la molleja (machos, 546; hembras, 175 ng de Hg/g), la sangre (machos, 855; hembras, 553 ng de Hg/g), las vísceras (machos, 411; hembras, 104 ng de Hg/g) y el corazón (machos, 628; hembras, 181 ng de Hg/g) aunque los promedios resultaron mayores en los machos, las diferencias no se presentan estadísticamente significativas en ninguno de los tejidos analizados.

Por su parte, en el pato cerceta café (*A. cyanoptera*), la concentración de Hg más alta se presentó en los machos en los siguientes tejidos (Anexo 1, Tabla 2): plumas (machos, 1553; hembras, 1231 ng de Hg/g), hígado (machos, 1270; hembras, 1057 ng de Hg/g), músculo (machos, 514; hembras, ng de Hg/g), molleja (machos, 386; hembras, 302 ng de Hg/g), vísceras (machos, 403; hembras, 254 ng de Hg/g), y corazón (machos, 344; hembras, 288 ng de Hg/g), encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$) únicamente en este último tejido (Figura 5). Sin embargo, (aunque no significativa), en la sangre (hembras, 457; machos, 393 ng de Hg/g) resultó mayor la acumulación del metal en cuestión en las hembras que en los machos.

Por otra parte, en *A. americana* no se encontró distinción significativa entre el mercurio acumulado en los distintos tejidos de ambos sexos, no obstante, los promedios más altos se presentaron en la mayor parte de los tejidos en las hembras, es decir en plumas, hígado, músculo, sangre y vísceras.

En *A. affinis* se logró identificar el sexo de los individuos capturados al igual que en las especies anteriores, asimismo se llevó a cabo una comparación entre la acumulación de Hg en hembras y machos, aún cuando sólo se colectaron ocho ejemplares de esta especie. En pocos tejidos se logró establecer una diferencia estadísticamente significativa entre los dos sexos, a excepción del músculo, el cual presentó mayor acumulación del metal en las hembras, es decir, que en las plumas, el hígado, la molleja, las vísceras y el corazón, solo se observa en promedio, cierta tendencia a concentrar más mercurio en las hembras, y por su parte, aunque no significativo, en la sangre el promedio más alto correspondió a los machos (Figura 5).

De acuerdo con Becker (1992), pueden encontrarse niveles de Hg significativamente más bajos en hembras de aves acuáticas que en machos, debido a que las hembras eliminan una parte del mercurio en la formación de huevos, principalmente en la época de reproducción (Lewis, *et al.*, 1993). Sin embargo hay poca evidencia de que los niveles de mercurio según los sexos en aves difieran, aunque Heinz (1976), encontró concentraciones más altas de mercurio en hígados de machos de la especie *Anas platyrhynchos* que en hembras después del periodo de desove. En otro estudio se encontraron niveles más bajos de mercurio en las plumas de hembras que en machos de la misma especie, después del periodo de desove (Braune & Gaskin, 1987), no obstante en este estudio fueron pocas las diferencias significativas encontradas en la acumulación de mercurio según el sexo, lo cual podría estar influenciado por la época en que fueron capturadas estas aves, ya que en la época de reproducción podría encontrarse menor acumulación de Hg en hembras que en machos, lo cual podría verse reflejado durante la época de verano en los sitios de donde son originarias en Norteamérica.

Lewis *et al.*, (1993), afirma que hay cierta tendencia en los diferentes tejidos de los machos a concentrar niveles más altos de Hg, aunque esta tendencia no es estadísticamente significativa en la mayor parte de los casos, lo cual puede ser observado en el presente estudio en especies como *A. clypeata*, *A. acuta* y *A. cyanoptera*, aunque en esta última especie si se registraron diferencias significativas en el corazón y de acuerdo a lo mencionado por este último autor la tendencia a acumular más mercurio de manera significativa, es debido principalmente a que los machos, son el 20 % más pesados que las hembras, por lo que consumen más alimento, provocando una mayor exposición a los distintos contaminantes del medio ambiente.

En las especies *A. crecca*, *A. discors*, *A. americana* y *A. affinis*, se encontraron los niveles de concentración más altos en las hembras, aunque solo en el músculo, la molleja y la sangre de *A. crecca*, y en el músculo de *A. affinis* se registraron diferencias estadísticamente significativas, lo cual se puede atribuir a que las épocas en que fueron capturadas estas aves no corresponden a las épocas de reproducción, ya que las hembras podrían presentar cierta pérdida de mercurio en la formación de huevos en dicha época. Esta tendencia probablemente este asociada en parte, a una cierta pérdida de peso en estas aves (principalmente debido a la pérdida de grasa que utilizan como energía) debido al largo viaje de migración que realizan. Dicha pérdida de peso podría provocar una mayor concentración del metal en las hembras de esas especies que en los machos, tomando en consideración que estas aves no desechan niveles altos de mercurio debido a la muda (la cual es la principal vía de excreción), ni a la formación de huevos durante la época de invierno, lo cual sucede regularmente en el verano en Norteamérica, por lo que, los machos podrían mantener aún un cierto grado de dilución del tóxico en sus órganos internos, ya que probablemente el desgaste de grasa en las hembras sea muy similar a la de los machos, aunque no en proporción al peso, lo que podría estar provocando que las hembras presenten mayores niveles de concentración de mercurio en los tejidos mencionados.

Particularmente, en *A. affinis*, los machos presentaron pesos muy inferiores a los de las hembras (Tabla 2), aunque el peso no es un patrón para distinguir la edad de los individuos, se puede pensar que por tratarse de diferencias muy marcadas en relación al peso promedio de un macho adulto, los machos capturados eran aves juveniles. De acuerdo con Walsh (1990), la edad en las aves puede marcar diferencias en la acumulación de mercurio, lo que puede explicar la tendencia de acumular más mercurio en el músculo de hembras del pato boludo, ya que si revisamos en la Tabla 3, los datos del peso encontrados

evidencian que las hembras de esta especie corresponden a aves con peso de adultas, en cambio los machos presentan pesos inferiores a los registrados en adultos.

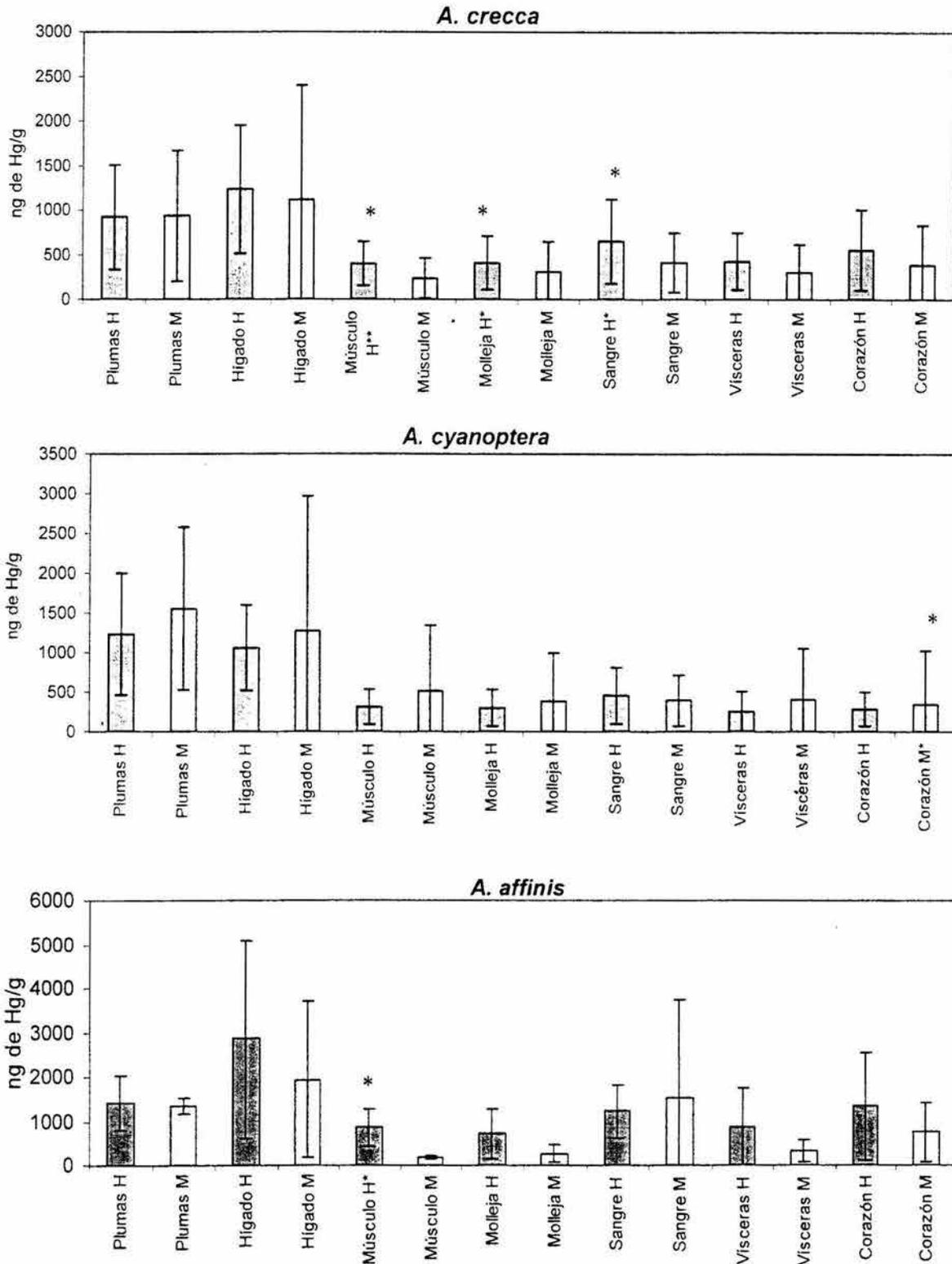


Figura 5. Concentración de Hg según el sexo, en *A. crecca*, *A. cyanoptera* y *A. affinis* (* presenta diferencia significativa).

Es importante mencionar que en este trabajo se correlacionaron el peso de las aves y la concentración de mercurio encontrada en los distintos tejidos, en hembras y machos, sin embargo dichas correlaciones para ninguno de los casos resultaron significativas, asimismo se compararon las concentraciones de Hg en los tejidos analizados entre las aves que alcanzaban los pesos comunes en individuos adultos contra las aves que no alcanzaban dicho peso en cada especie (Tabla 1 y 2), no obteniendo diferencias significativas en dicha comparación.

8.5 Concentración de Hg según el área de recolección de las aves

Las Anatidaeas son aves acuáticas que constituyen una familia diversa y ampliamente distribuida, asimismo forman un importante recurso natural debido principalmente a la gran abundancia y valor cinegético (Rendón-Von, et al., 2001). Sin embargo, las distintas especies de esta familia incluidas las de hábitos migratorios, son susceptibles a acumular metales pesados por las distintas vías de absorción, lo cual puede estar en gran parte definido por las zonas geográficas donde las aves llegan a residir temporalmente. Es por ello, que en este estudio se hace una comparación entre los niveles de acumulación del mercurio, según la zona de captura (Norte y Sur de la Costa de Sinaloa) de las aves estudiadas después de permanecer temporalmente en las costas de Sinaloa.

Los promedios de la concentración del Hg, las desviaciones estándar, los rangos máximos y mínimos de los diferentes organismos se presentan en la Tabla 3 del Anexo 1. Cabe mencionar, que de manera general, se consideró como zona sur, el Sistema Litoral Majahual y a Huizache-Caimanero, asimismo, como zona norte el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, Bahía Santa María-La Reforma, Navachiste-San Ignacio-Macapule, Topolobampo-Ohuira (Figura 2).

A. discors, presentó diferencias significativas en la concentración de Hg en las vísceras de los individuos capturados en la zona norte comparados con los capturados en la zona sur, encontrando cierta tendencia a acumular más Hg en las aves recolectadas en la zona norte. Esto resulta obvio, ya que la zona de mayor actividad agrícola e industrial del estado de Sinaloa; se ubica en la zona Norte, donde los aportes de los contaminantes incluido el

Hg, llegan a las zonas costeras por los escurrimientos y a través de la atmósfera (Páez-Osuna, et al., 1998).

En la Figura 6, se presentan de manera gráfica la concentración promedio (\pm la desviación estándar en ng de Hg/g) en *A. discors* para los distintos tejidos analizados, evidenciándose claramente la tendencia a concentrar más mercurio en las aves de esta especie capturadas en la zona norte de la costa de Sinaloa.

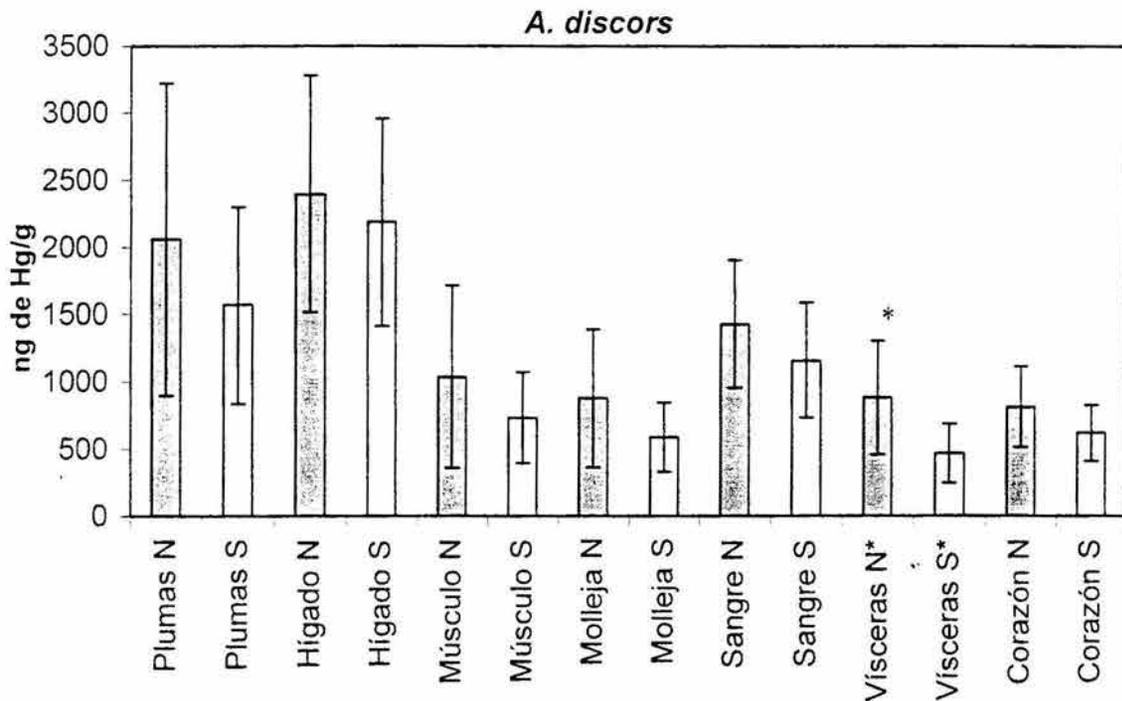


Figura 6.- Promedios y desviación estándar de la concentración (ng de Hg/g) del mercurio en el pato cerceta aliazul. * Indica diferencia significativa ($p < 0.05$) en un mismo tejido entre las dos épocas de captura.

Con base en los resultados obtenidos en la Tabla 3 del Anexo 1, se puede deducir que estas aves no permanecen el suficiente tiempo en la zona de estudio durante la época de invierno para que se reflejen las posibles diferencias en exposición entre las áreas,

debido a que en la mayoría de los casos no se encontraron diferencias entre las dos zonas indicadas. Alternativamente, esto puede indicar, en cuanto a los niveles de Hg disponibles para las aves, que estos sean iguales o comparables entre las regiones norte y sur de la costa de Sinaloa.

8.6 Concentración de Hg en aves acuáticas según la época de captura

En la Tabla 4 del Anexo 1, se presentan los promedios (\pm desviación estándar, el rango máximo y mínimo), de la concentración de Hg en las aves acuáticas investigadas, con hábitos migratorios de la familia Anatidae para las dos épocas de captura examinadas; en dicha tabla se puede notar que en las especies de *A. clypeata* y *A. americana* no se encontraron diferencias significativas en los diferentes tejidos (prueba estadística ANOVA de un vía, del \ln de la concentración de Hg), entre los individuos recolectados en la época de arribo (en noviembre y diciembre del 2001) y en la época de partida (en febrero y marzo del 2002).

Por su parte, las especies *A. crecca*, *A. discors*, *A. acuta* y *A. cyanoptera* presentaron mayores concentraciones promedio de Hg en la mayor parte de los tejidos analizados en la época de partida en comparación con los de la época de arribo (Tabla 4 del Anexo 1). Lo cual indica que estos organismos se exponen probablemente a concentraciones mayores de Hg en las costas de Sinaloa con respecto a los sitios de procedencia.

Particularmente en *A. crecca* se presentaron diferencias estadísticamente significativas en el Hg acumulado entre las dos épocas de captura, notándose (Figura 7), mayores niveles de acumulación del metal en cuestión en los organismos recolectados en la época de partida en los siguientes tejidos: hígado, músculo pectoral, mollejas, sangre, vísceras y corazones. En las plumas, se observa que el comportamiento de los promedios es el mismo que en el resto de los tejidos (mayor acumulación en las plumas de los organismos que corresponden a la captura en época de partida), aunque las diferencias no resultan ser significativas. En el pato Aliazul (*A. discors*) al igual que en *A. crecca*, los promedios de

concentración de Hg significativamente más altos, en casi la mayor parte de los tejidos analizados correspondieron a los de la época de partida, exceptuando el hígado, que aunque al igual que el resto de los tejidos, presenta en promedio mayor acumulación de mercurio en las aves que corresponden a la colecta de la época de partida, no se encontraron diferencias significativas, lo cual posiblemente se debe a las amplias desviaciones estándar que se presentan en este tejido (Figura 7).

En el pato golondrino (*A. acuta*), al igual que *A. crecca*, no se registraron diferencias entre la concentración de Hg acumulada en el plumaje de las aves capturadas en las dos épocas, mientras que en el resto de los tejidos se presentaron los niveles significativamente más altos en la época de partida. Por su parte, el pato *A. cyanoptera* presentó valores promedios significativamente más altos solamente en el músculo en la época de partida (Tabla 4 del Anexo 1).

En la Figura 7 se muestran e ilustran los promedios y las desviaciones estándar de la concentración del metal de las cuatro especies en las cuales se encontraron diferencias importantes de la acumulación de una época con relación a otra. Se puede notar que en la mayoría de los casos estudiados hay una clara tendencia a concentrar más Hg en el momento de la partida de las aves acuáticas migratorias de las costas de Sinaloa, esto mismo puede ser observado en el valor de Δ de la Tabla 4 del Anexo 1, en el cual el valor absoluto en la mayoría de los casos corresponde a números negativos, lo cual indica que la concentración de mercurio es mayor en la época de partida, asimismo que tales aves se exponen a niveles más elevados o disponibles para ellas en las costas de Sinaloa que en los sitios de procedencia en Norteamérica.

De acuerdo con Burger (1997), los efectos potenciales de la contaminación por mercurio en poblaciones, comunidades y ecosistemas son altos, particularmente en un sistema que se encuentra en ambientes tropicales, en el cual los organismos son más vulnerables que los que se encuentran en ambientes templados. Asimismo, las poblaciones de depredadores tropicales pueden ser siempre más vulnerables que en zonas templadas, por que pueden tener más variedad de nichos o porque son organismos grandes y por lo tanto más complejos en la trama trófica (Wren and Stephenson, 1991). Debido a que Sinaloa posee un clima subtropical con cierta similitud a los ambientes tropicales, y si además se considera que las aves migratorias estudiadas en este trabajo, muy probablemente realizan su vuelo migratorio hasta zonas predominantemente tropicales, significa que dichas aves se encuentran vulnerables a concentrar más mercurio en la época de partida (o de regreso) al norte de América donde predomina el clima templado, después de haber residido temporalmente en zonas tropicales o subtropicales, que en época de arribo donde previamente residen temporalmente en ambiente templados.

Alternativamente, puede ocurrir que por la elevada vida media biológica del Hg en las aves, tales niveles medidos en las aves recolectadas en la época que llamamos partida, todavía revelen los niveles de Hg acumulado varios meses atrás, cuya concentración puede estar determinada por una cierta ganancia de peso, previa al vuelo de migración y pérdida de peso de estas aves durante su vuelo de desplazamiento a los lugares donde residen temporalmente, lo que probablemente cause un efecto de dilución y aumento de concentración del metal, lo cual seguramente, también depende del tejido en cuestión. Como se pudo observar en la Tabla 4 del Anexo 1, algunos tejidos como el hígado en la mayoría de las aves (*A. crecca*, *A. discors*, *A. acuta*, *A. cyanoptera*, *A. americana* y *A. affinis*) presenta una mayor Δ que el resto de los tejidos, con lo cual se puede suponer que la vida

media biológica es mayor en este tejido, asimismo este tejido, es el que concentra mayor cantidad de mercurio cuando el organismo aparentemente registra una cierta pérdida de peso, lo cual ocurre de manera similar aunque en menor proporción en otros tejidos como el músculo y la molleja.

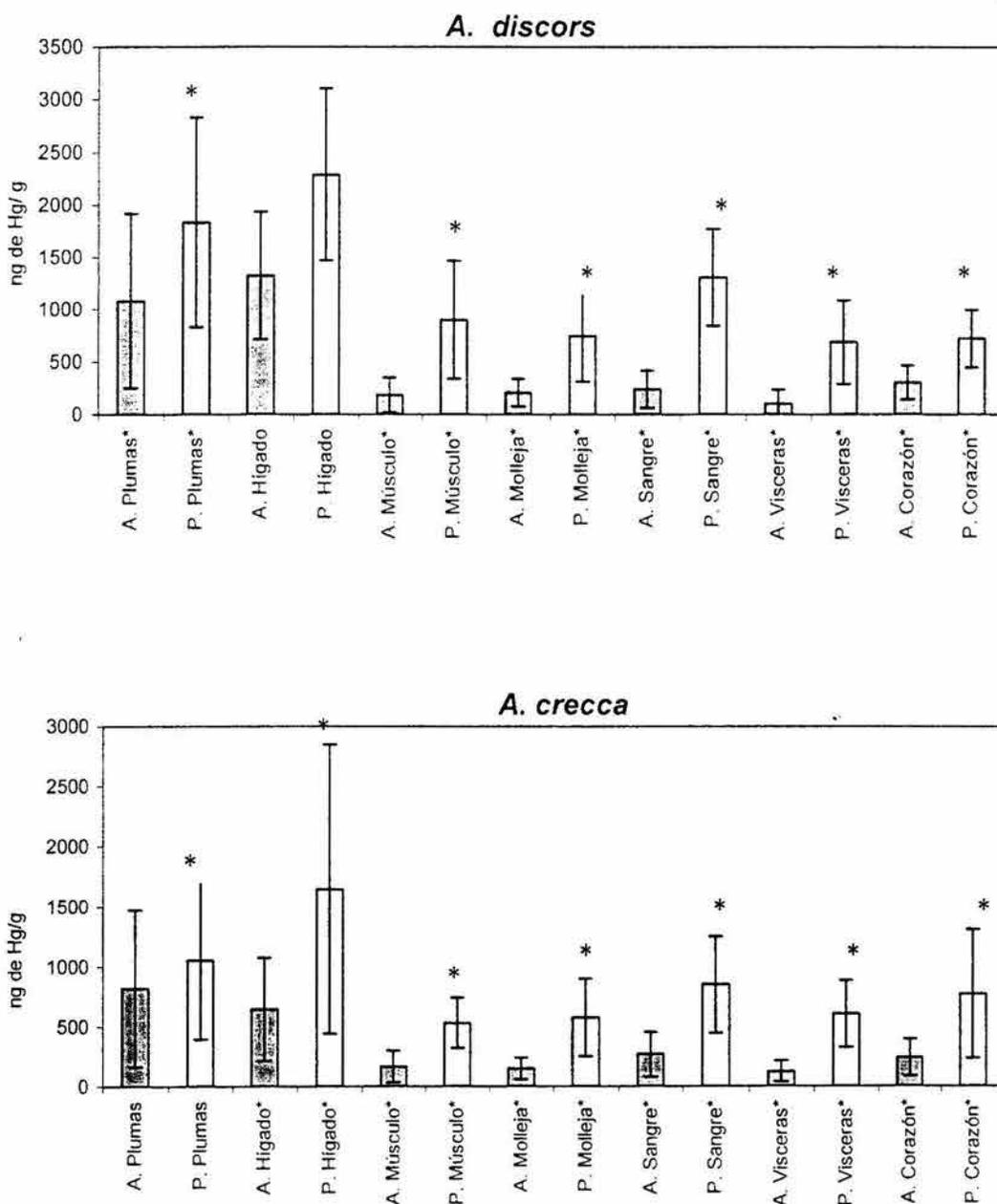


Figura 7a. – Promedio y desviación de la concentración de Hg, según la época (arriba y partida) en *A. discors* y *A. crecca*. * Presenta diferencia significativa a $p < 0.05$.

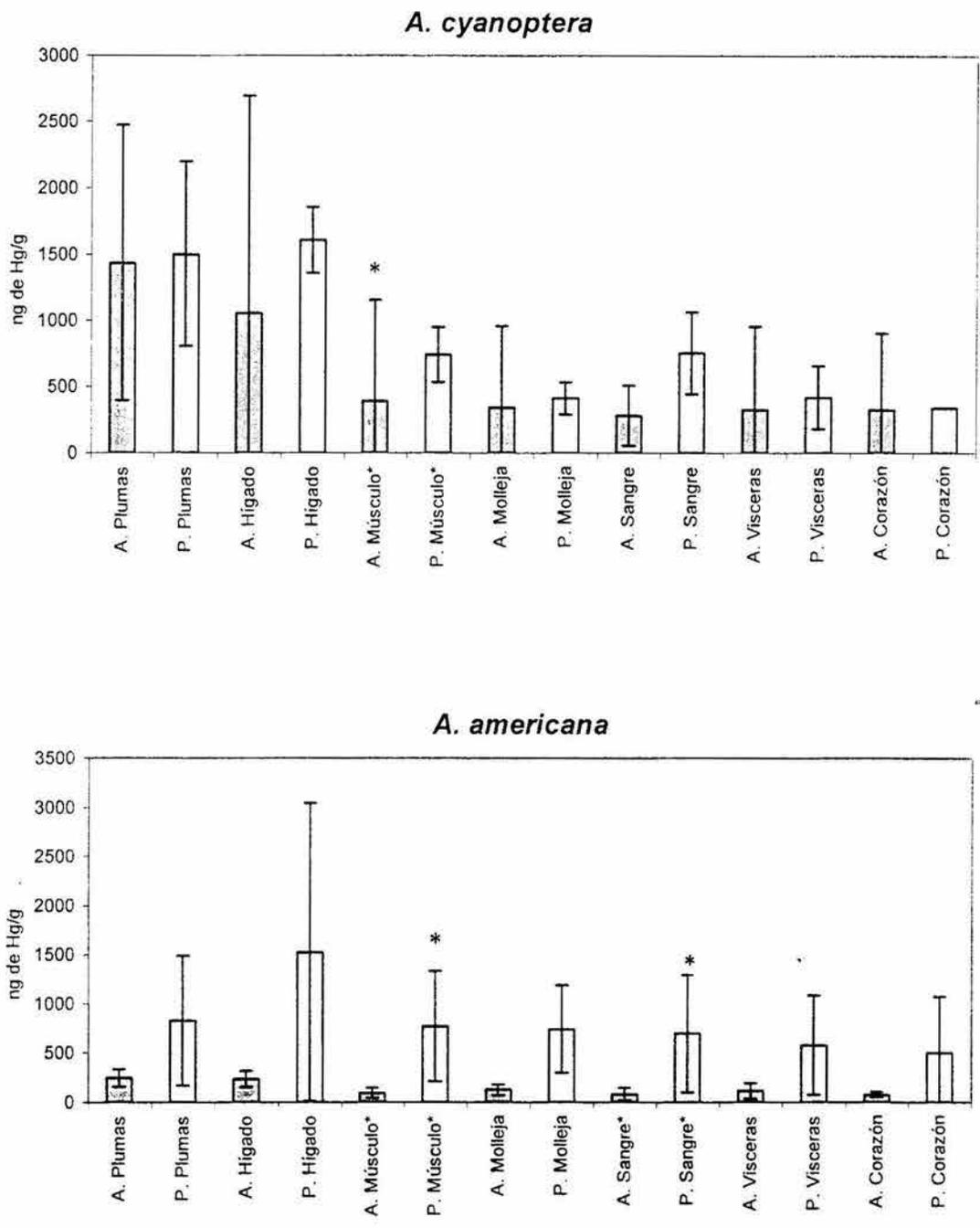


Figura 7b. – Promedio y desviación de la concentración de Hg, según la época (arriba y partida) en *A. cyanoptera* y *A. americana*. * Presenta diferencia significativa a $p < 0.05$.

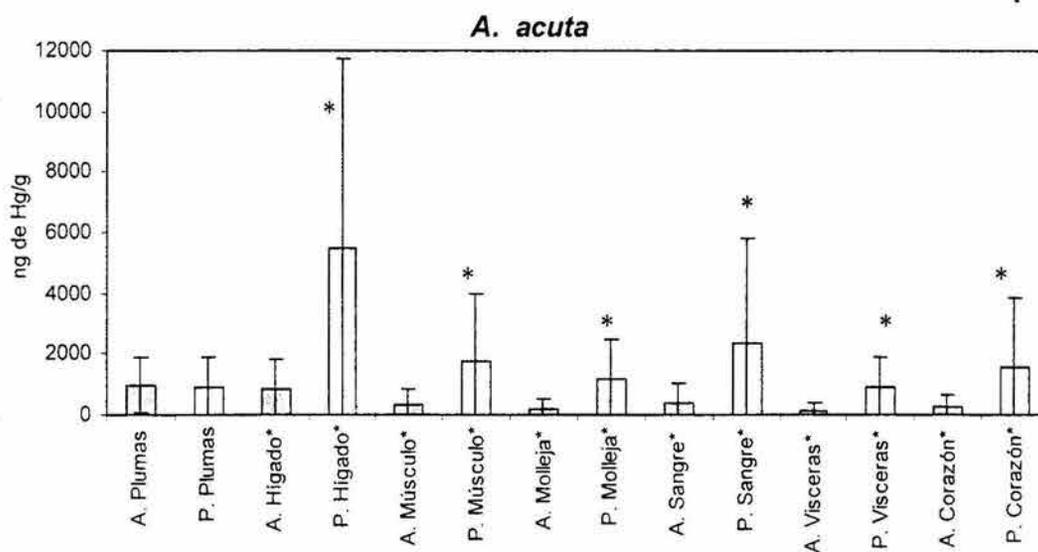


Figura 7c. – Promedio y desviación de la concentración de Hg, según la época (arriba y partida) en *A. acuta*. * Presenta diferencia significativa a $p < 0.05$.

8.7 Correlaciones entre los distintos tejidos estudiados

Con objeto de identificar que tejidos se asocian entre sí en la correlación de Hg, se hizo un análisis completo para todos los tejidos y las aves estudiadas. Los coeficientes de correlación (r) y el valor de n para cada correlación estadísticamente significativa entre los tejidos estudiados, son presentados en una matriz de correlación por especie en la Tabla 5.

Tabla 5. Matriz de correlación entre los niveles de concentración de Hg de los distintos tejidos de las aves estudiadas ($p < 0.05$).

Tejidos- especie	Tejidos						
	Plumas	Hígado	Músculo	Molleja	Sangre	Vísceras	Corazón
<i>A. clypeata</i>							
Plumas	r	-					
	n						
Hígado	r	-	0.824*	0.496*	0.647*	0.738*	0.675*
	n		n=39	n=40	n=37	n=42	n=36
Músculo	r	-	-	0.573*	0.655*	0.797*	0.553*
	n			n=45	n=42	n=48	n=41
Molleja	r	-	-	-	0.533*	0.603*	0.404*
	n				n=43	n=48	n=43
Sangre	r	-	-	-	-	0.586*	0.494*
	n					n=45	n=39
Vísceras	r	-	-	-	-	-	0.599*
	n						n=44
Corazón	r	-	-	-	-	-	-
	n						
<i>A. crecca</i>							
Plumas	r	-	0.554*	0.328*		0.331*	
	n		n=35	n=39		n=38	
Hígado	r	-	0.855*	0.827*	0.562*	0.757*	0.866*
	n		n=33	n=37	n=33	n=37	n=34
Músculo	r	-	-	0.825*	0.768*	0.876*	0.627*
	n			n=37	n=33	n=36	n=34
Molleja	r	-	-	-	0.844*	0.813*	0.869*
	n				n=37	n=40	n=37
Sangre	r	-	-	-	-	0.740*	0.778*
	n					n=36	n=33
Vísceras	r	-	-	-	-	-	0.795*
	n						n=36
Corazón	r	-	-	-	-	-	-
	n						

Tabla 5. Continuación.

<i>A. discors</i>		Plumas	Hígado	Músculo	Molleja	Sangre	Visceras	Corazón
Plumas	<i>r</i>	-		0.494*	0.354*	0.339*	0.534*	0.534*
	<i>n</i>			n=35	n=35	n=34	n=36	n=25
Hígado	<i>r</i>	-	-	0.419*			0.466*	0.654*
	<i>n</i>			n=29			n=30	n=20
Músculo	<i>r</i>	-	-	-	0.847*	0.767*	0.798*	0.686*
	<i>n</i>				n=34	n=33	n=35	n=24
Molleja	<i>r</i>	-	-	-	-	0.755*	0.791*	0.882*
	<i>n</i>					n=33	n=35	n=24
Sangre	<i>r</i>	-	-	-	-	-	0.868*	0.554*
	<i>n</i>						n=34	n=23
Visceras	<i>r</i>	-	-	-	-	-	-	0.853*
	<i>n</i>							n=25
Corazón	<i>r</i>	-	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>							
<i>A. acuta</i>								
Plumas	<i>r</i>	-						
	<i>n</i>							
Hígado	<i>r</i>	-	-	0.972*	0.893*	0.828*	0.864*	0.991*
	<i>n</i>			n=25	n=25	n=20	n=25	n=22
Músculo	<i>r</i>	-	-	-	0.854*	0.831*	0.814*	0.985*
	<i>n</i>				n=26	n=21	n=26	n=23
Molleja	<i>r</i>	-	-	-	-	0.768*	0.800*	0.864*
	<i>n</i>					n=21	n=26	n=23
Sangre	<i>r</i>	-	-	-	-	-	0.568*	0.858*
	<i>n</i>						n=21	n=19
Visceras	<i>r</i>	-	-	-	-	-	-	0.917*
	<i>n</i>							n=23
Corazón	<i>r</i>	-	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>							
A.								
<i>cyanoptera</i>								
Plumas	<i>r</i>	-						
	<i>n</i>							
Hígado	<i>r</i>	-	-	0.988*	0.977*	0.833*	0.957*	0.987*
	<i>n</i>			n=17	n=18	n=18	n=18	n=15
Músculo	<i>r</i>	-	-	-	0.989*	0.860*	0.975*	0.992*
	<i>n</i>				n=16	n=16	n=16	n=15
Molleja	<i>r</i>	-	-	-	-	0.886*	0.988*	0.995*
	<i>n</i>					n=17	n=17	n=14
Sangre	<i>r</i>	-	-	-	-	-	0.826*	0.851*
	<i>n</i>						n=17	n=14
Visceras	<i>r</i>	-	-	-	-	-	-	0.993*
	<i>n</i>							n=14
Corazón	<i>r</i>	-	-	-	-	-	-	-
	<i>n</i>							

Tabla 5. Continuación.

<i>A. americana</i>		Plumas	Hígado	Músculo	Molleja	Sangre	Visceras	Corazón
Plumas	r	-		0.797*				
	n			n=12				
Hígado	r	-	-		0.898*	0.956*	0.929*	
	n				n=10	n=11	n=13	
Músculo	r	-	-	-				
	n							
Molleja	r	-	-	-	-	0.949*	0.975*	0.797*
	n					n=9	n=12	n=10
Sangre	r	-	-	-	-	-	0.955*	0.611*
	n						n=12	n=12
Visceras	r	-	-	-	-	-	-	0.780*
	n							n=13
Corazón	r	-	-	-	-	-	-	-
	n							

* Presenta correlación significativa a ($p < 0.05$), según prueba de Pearson r (Zar, 1984).

Las correlaciones de concentración de Hg entre los tejidos del pato cucharón, se puede notar que la mayoría, de las correlaciones son significativas; aunque se presenta una excepción en las plumas al interrelacionarlas con los demás tejidos. Por otro lado, si comparamos los coeficientes de correlación en esta matriz cuya $p < 0.05$, encontramos que la r mayor corresponde a la correlación músculo-hígado, seguido de vísceras-músculo y vísceras-hígado. Por lo cual, se puede asumir que los tejidos que más se correlacionan con el resto de los tejidos en esta especie, son el músculo, el hígado y las vísceras. Asimismo también, se puede notar, que los tejidos con una $p < 0.05$ y que presentan el coeficiente r menor al interrelacionarlos con los demás tejidos son el corazón y la molleja, por lo que se puede decir que estos dos tejidos son los que menos reflejan la acumulación de mercurio, respecto al resto de los tejidos.

En la cerceta ala verde (*A. crecca*) se presentan correlaciones similares a *Anas clypeata* entre sus tejidos, aunque en este caso las plumas registran correlaciones significativas con el músculo, la sangre y las vísceras. Los valores más altos en este caso para r , corresponden a las interrelaciones vísceras-músculo seguido de músculo-hígado y molleja-

sangre. También se puede notar, que los niveles de Hg en el músculo y la sangre, presentan los mayores valores de r al correlacionarlos con los demás tejidos analizados; por lo que se puede decir, que el músculo y la sangre son los tejidos que más reflejan la acumulación de Hg de los órganos internos de esta especie, en comparación con el resto de los tejidos.

Por otra parte, casi la totalidad de los tejidos analizados en el pato cerceta aliazul (*A. discors*) presentan correlaciones significativas entre ellos. Sin embargo, en este espécimen, excepcionalmente aún cuando el hígado presenta las mayores concentraciones promedio de Hg, estos niveles no están significativamente relacionados con la acumulación del Hg en las plumas, la molleja y la sangre. En esta ave a diferencia de las anteriores, la r mayor se encuentra en la interrelación corazón-molleja, después la correlación sangre-vísceras y corazón-vísceras. Asimismo como se puede notar en la matriz *A. discors* de la Tabla 5, en las correlaciones con las plumas se encontraron los valores de r menores.

En el pato golondrino (*A. acuta*) se encontraron correlaciones significativas de manera similar al pato cucharón, es decir que el único tejido que no se correlaciona significativamente con el resto, son las plumas; aunque en este caso, el tejido que presenta de manera general los valores más altos del coeficiente r , es el corazón y después el hígado, seguido por el músculo. Asimismo, la r mayor se presentó en la correlación corazón-hígado, seguido de corazón-músculo y músculo-hígado y la r de menor valor se presentó en la correlación vísceras-sangre. Por lo anterior, se puede decir que los niveles de concentración de Hg encontrados en el corazón, son los que más reflejan los niveles de Hg del resto de los tejidos en esta especie.

En total se capturaron 19 patos cerceta café (*A. cyanoptera*), entre la época de arribo y la época de regreso de estas aves migratorias y al igual que las anteriores se efectuaron pruebas de correlación entre los distintos niveles de mercurio de los tejidos analizados. Las correlaciones del pato cerceta café al igual que el pato golondrino y el pato cucharón se presentaron sólo entre los distintos órganos internos, es decir que las Plumas no se correlacionan significativamente con el resto de los tejidos (véase Tabla 6, matriz *A. cyanoptera*). En esta ave el coeficiente r de mayor valor se encontró en la interrelación molleja-corazón ($r = 0.995$; $n = 14$), seguido por corazón-vísceras ($r = 0.993$; $n = 14$) y corazón-músculo ($r = 0.992$; $n = 15$). A partir de esto, se puede decir que el corazón en esta especie, al igual que en el pato golondrino, es el tejido que más se correlaciona con el resto de los tejidos estudiados.

Finalmente, la especie en la cual se encontró menos correlación en la acumulación de Hg con los distintos tejidos es *A. americana*, llamado comúnmente pato Chalcuán. En esta ave, se encontraron correlaciones significativas entre el músculo y las plumas, entre el corazón y las vísceras; asimismo el hígado presentó una correlación significativa con la molleja, la sangre y la vísceras; del mismo modo la molleja con la sangre, las vísceras y el corazón e igualmente la sangre con las vísceras y el corazón (Véase Matriz *A. americana*, Tabla 5). De estas interrelaciones, el valor de r mayor correspondió a la correlación vísceras-molleja ($r = 0.975$), le siguió hígado-sangre ($r = 0.956$). La r menor significativa se encontró en la interrelación corazón-sangre ($r = 0.611$).

Las correlaciones entre niveles de concentración de mercurio de distintos tejidos han sido observadas previamente en aves acuáticas (Thompson, 1990). Al igual que en este estudio en el pato Chalcuán, hay casos donde se ha encontrado poca correlación (Ohlendorf

et al., 1985), además se ha llegado a la conclusión de que estas correlaciones no pueden ser generalizadas para todas las especies, lo cual puede ser corroborado en este estudio al notarse que tales correlaciones varían según la especie. Diversos autores (Parslow et al., 1973; Eisler 1981; Ohlendorf et al., 1985; Elbert & Anderson, 1998) han encontrado este tipo de resultados, por ejemplo, Driver & Derksen (1980) encontraron correlaciones significativas entre la concentración de Hg en plumas con relación al músculo pectoral, y con el hígado; de igual manera el hígado con el músculo pectoral. Esto fue observado en Manitoba, Canadá en los años 1971 y 1972; algo similar a lo encontrado con algunas especies de este estudio (*A. crecca*, *A. discors* y *A. americana*) donde se correlacionan principalmente las plumas con el músculo pectoral, y casi en la totalidad de los casos el hígado con el músculo (exceptuando *A. americana*). Por su parte, Arvizu-Merín (2003), encontró correlaciones significativas entre los tejidos músculo-corazón e hígado-plumas, en una especie de ave residente *Plegadis Chi* comúnmente conocido como "ibis cariblanca" capturada en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellón.

Algunos autores sugieren el uso de las plumas para indicar la concentración del mercurio en las aves, ya que permite evitar el sacrificio de grandes cantidades de estos organismos (Furness y Hutton, 1979; Thompson et al., 1991; 1998), aunado a esto, en estudios experimentales en laboratorios (Lewis y Furness, 1991, 1993) y de campo (Monteiro, 1996) se ha demostrado que las concentraciones de mercurio en plumas reflejan los niveles de mercurio en la sangre en la época en que se forman las plumas, en el caso de las aves polluelas (Furness et al, 1997) y durante el periodo de muda (en aves mayores), lo cual sucede en un periodo de alrededor de 5 a 6 meses en especies acuáticas (Ginn and Melvilla, 1983); esto ocurre debido a que la sangre provee los constituyentes con los que la keratina es sintetizada (la cual es una proteína rica en grupos sulfhidrilos y la principal

estructura que compone a las plumas) junto a otros materiales, algunos de los cuales (particularmente los metales pesados) tienen alta afinidad con los grupos sulfhidrilos y debido a esto, algunos metales (particularmente el mercurio) son atrapados en la formación de plumas (aun después de la muda) y eventualmente vertidos, además, esta es considerada como una vía importante de excreción de los metales (Braune y Gaskin, 1987).

De manera general se ha encontrado que los niveles de mercurio en las plumas se correlacionan positivamente con órganos internos (Furness and Hutton, 1979; Thompson et al., 1998) como el hígado (Thompson, et al., 1991), aunque se piensa que las correlaciones están lejos de ser perfectas y no son consistentes entre todos los órganos o especies de aves (Thompson et al., 1991; Burger, 1993; Burger, 1997), lo cual puede ser corroborado en este estudio, ya que en muchos de los casos dependiendo del tejido y la especie en cuestión, se presentan correlaciones no significativas y significativas en algunos otros.

Por otra parte, los niveles de Hg en la sangre y órganos internos se han relacionado con cierta dosis de ingestión de mercurio suministrada oralmente en laboratorios de experimentación y en aves silvestres (Becker, 1992; Lewis et al., 1993). Monteiro et al. (1998), señalan que existe una alta correlación entre los niveles de mercurio de la dieta de las aves y los niveles de las plumas, así que debido a esto sugiere que éstas pueden ser usadas como indicadoras de los efectos de este metal en la cadena alimenticia. En este estudio se presenta correlaciones significativas en la mayoría de los casos entre los órganos internos y la sangre (Tabla 6), especialmente con órganos que participan en los procesos digestivos del alimento como la molleja y las vísceras.

Por otro lado, se tiene que los metales pesados no solo son incorporados a las plumas vía sangre, sino que además pueden ser depositados desde la atmósfera a la superficie de las plumas (Hahn, 1991), de aquí que se puedan confundir estos dos procesos al usar a las plumas como monitores de contaminación por metales. Esto último podría explicar la poca correlación que se encontró en las concentraciones de mercurio encontradas entre las plumas y el resto de los tejidos estudiados en este trabajo. Con base a esto, se puede concluir que muy probablemente debido a los hábitos migratorios de las aves estudiadas, la acumulación del metal analizado en este tejido está asociada a los dos fenómenos de acumulación mencionados, ya que existen zonas costeras de donde provienen estas aves en el norte del continente americano, con un grado alto de desarrollo urbano e industrial situado a sus alrededores. Por ejemplo, la Bahía de San Francisco ha sido considerada como zona contaminada por mercurio cuya principal vía de aportación es la atmosférica (Hui, 1998), igualmente están otras grandes regiones urbanas e industriales en el resto de Estados Unidos y Canadá.

Con la finalidad de ilustrar las correlaciones significativas entre los distintos tejidos de las aves estudiadas se presenta la Figura 8, en la cual se puede observar las gráficas de correlación entre los distintos tejidos en los que se encontró correlaciones significativas, además se presenta la línea de tendencia para regresiones lineales y la ecuación de la recta para cada uno de los casos, lo cual servirá como herramienta para conocer la concentración de mercurio de un tejido con respecto al resto en los casos en los que se presenta correlaciones significativas, especialmente entre las plumas y el resto de los tejidos en *A. crecca* y *A. discors* y entre la sangre y los demás tejidos en todas las especies analizadas, lo cual permitirá evitar el sacrificio de estas aves en futuros estudios.

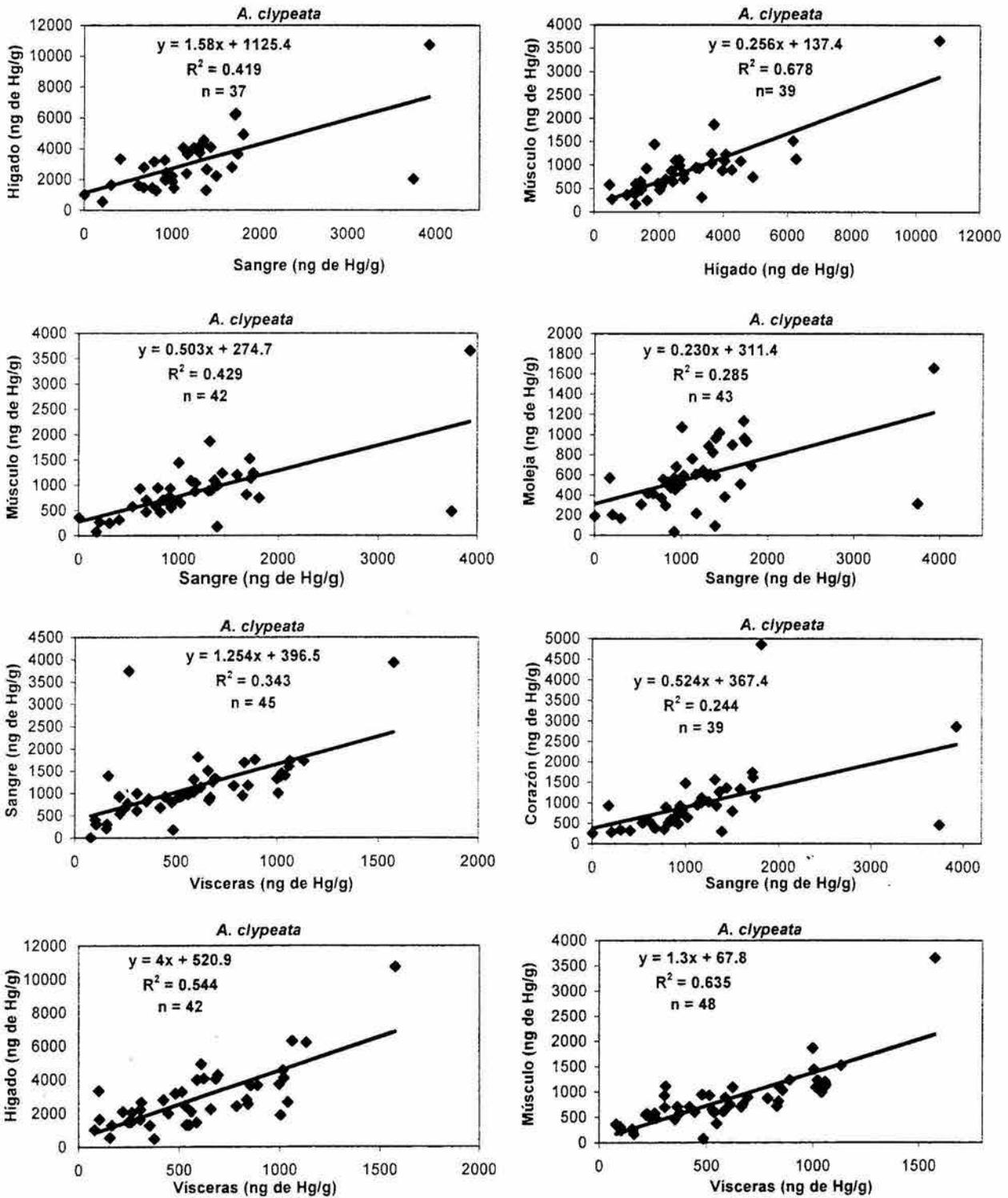


Figura 8a. Gráficas de correlación de concentración de Hg entre distintos tejidos en *A. clypeata* (línea de tendencia y ecuación de la recta).

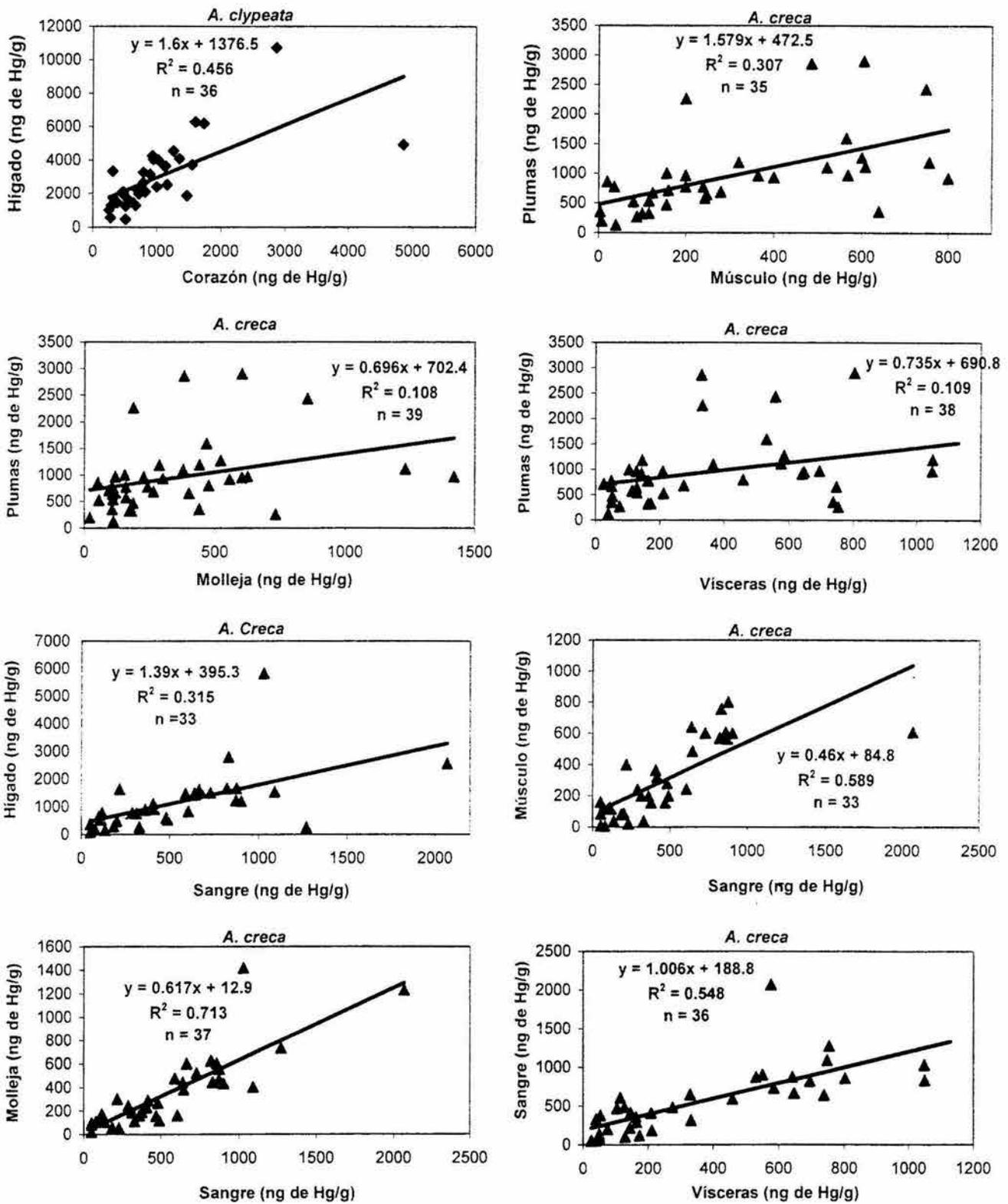


Figura 8b. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre tejidos de *A. clypeata* y *A. creca* (línea de tendencia y ecuación de la recta).

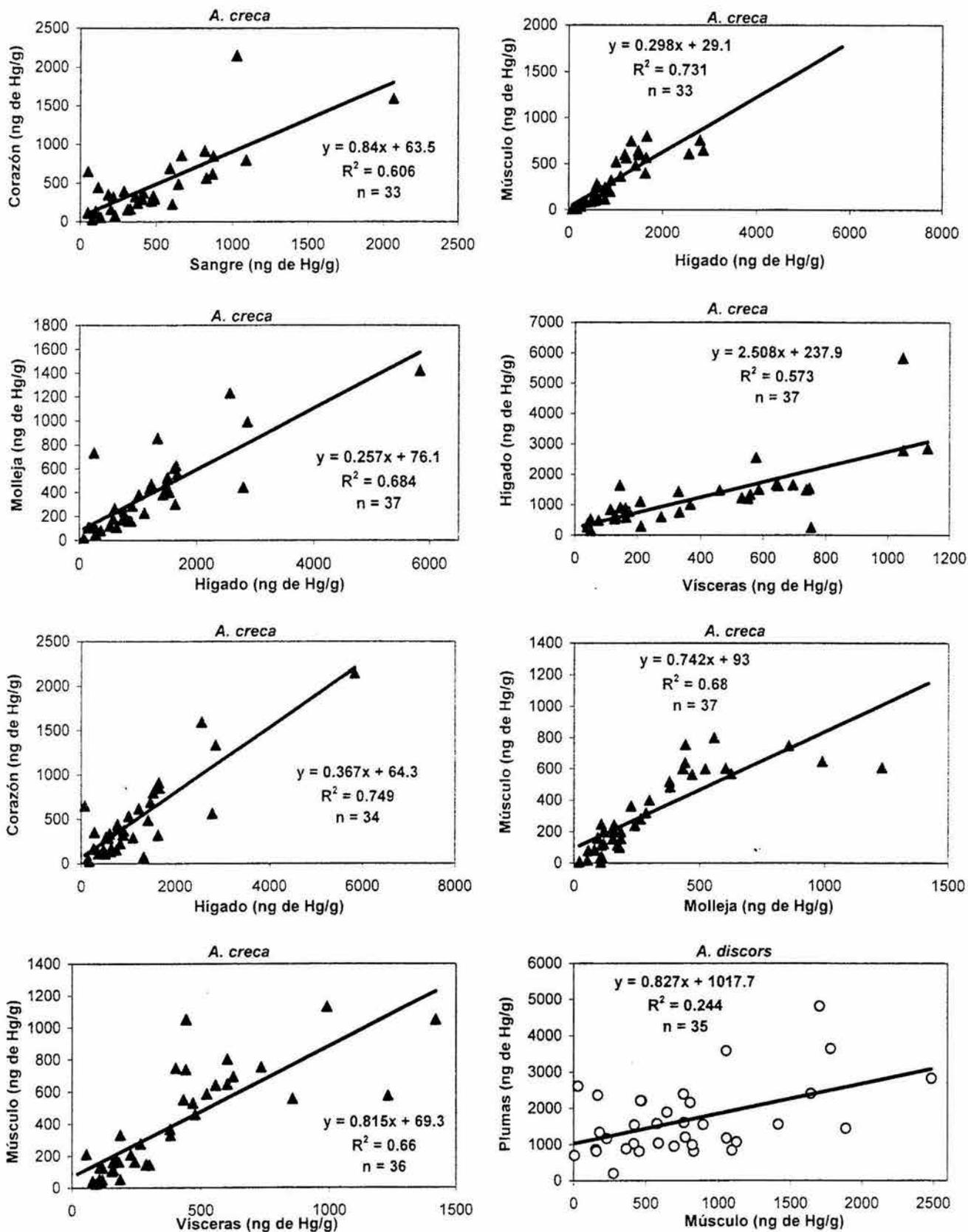


Figura 8c. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre tejidos de *A. creca* y *A. discors* (línea de tendencia y ecuación de la recta).

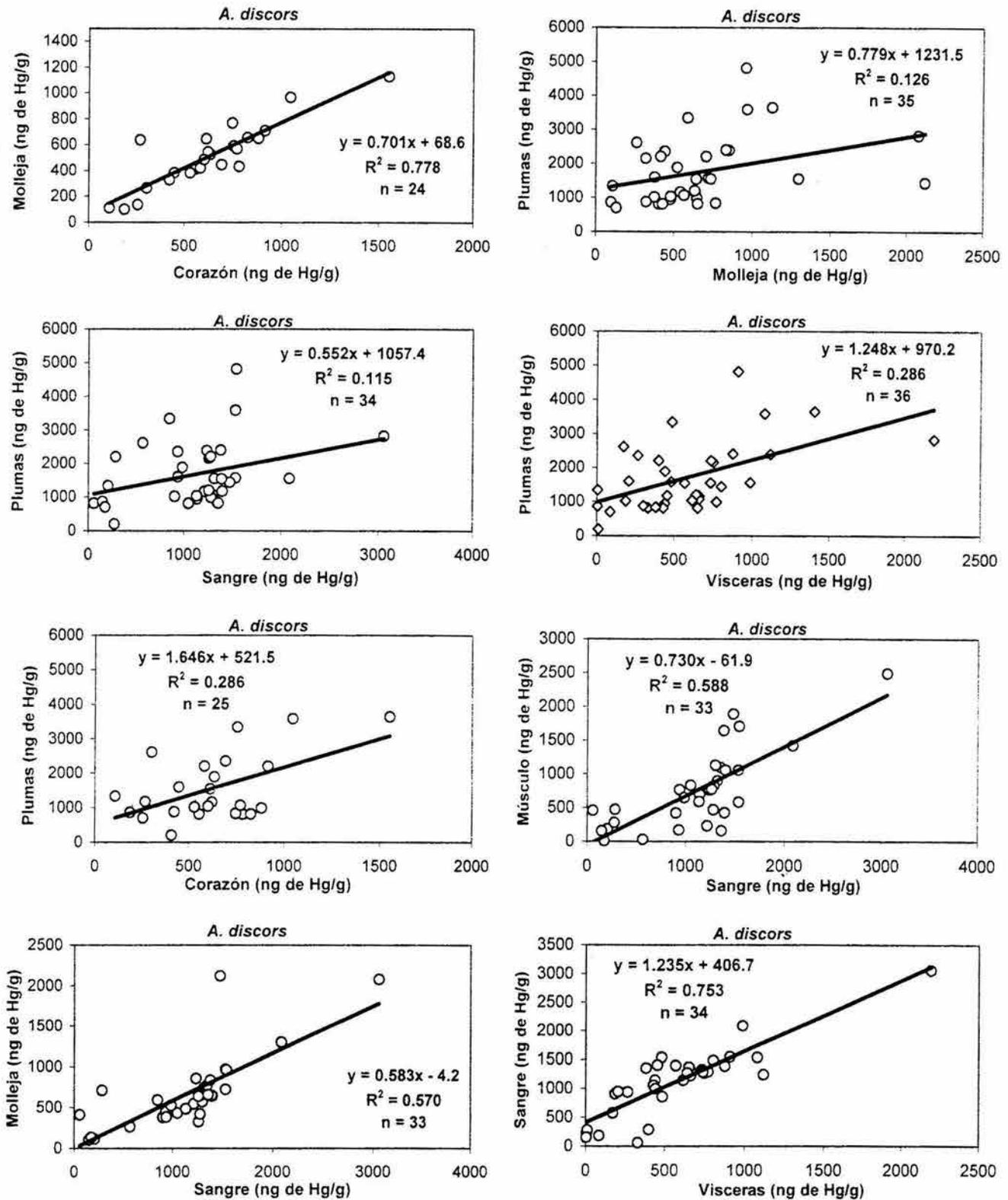


Figura 8d. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre distintos tejidos de *A. discors* (línea de tendencia y ecuación de la recta).

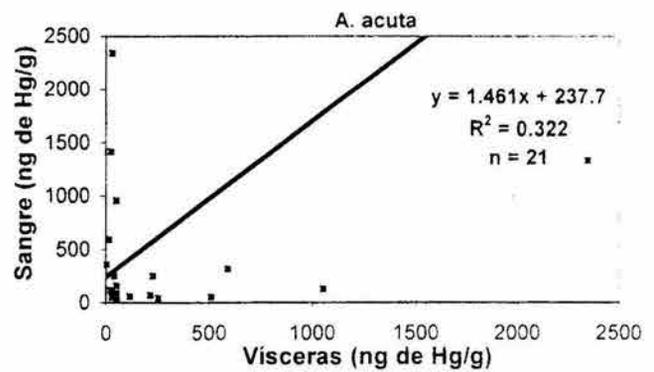
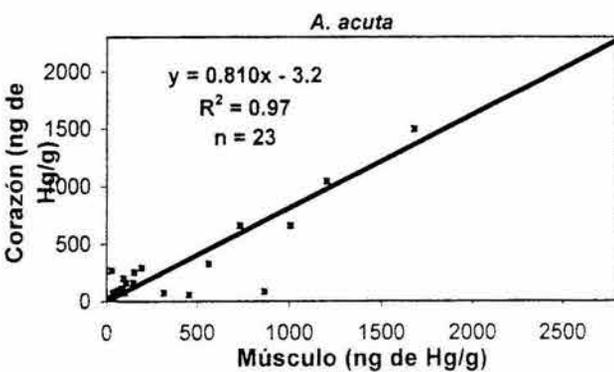
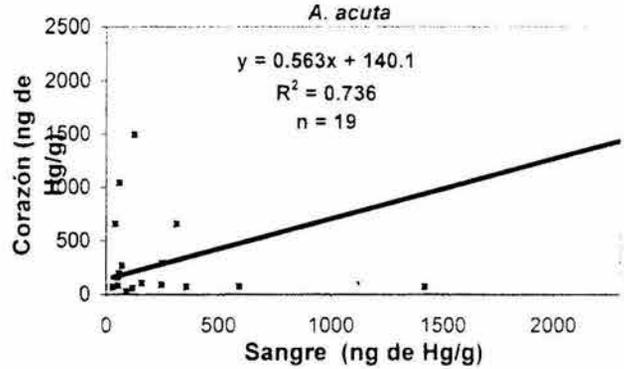
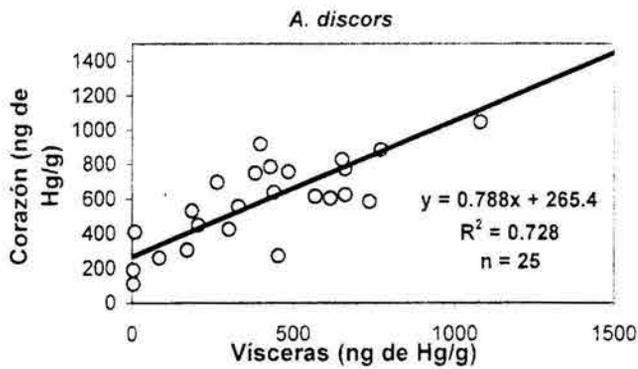
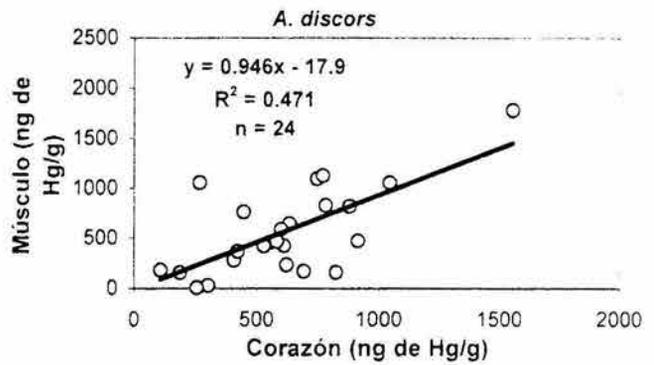
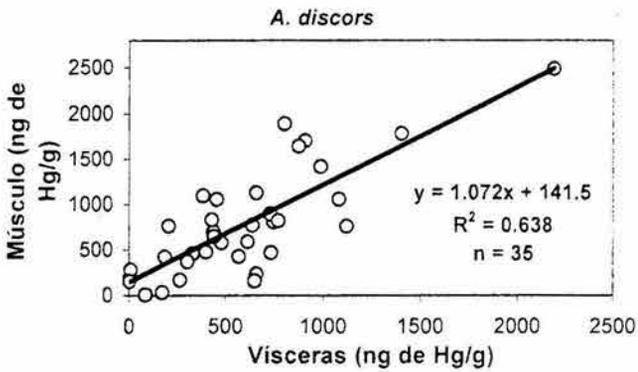
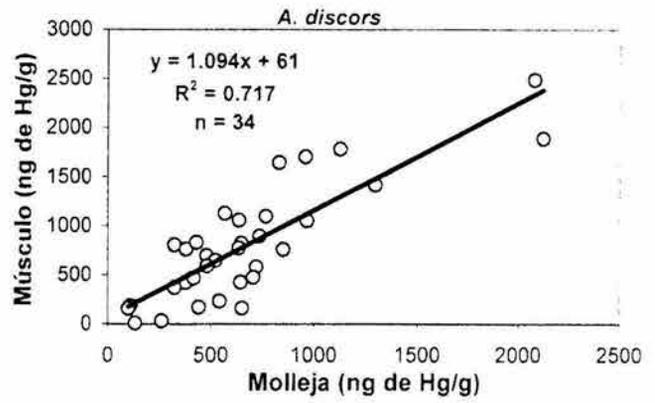
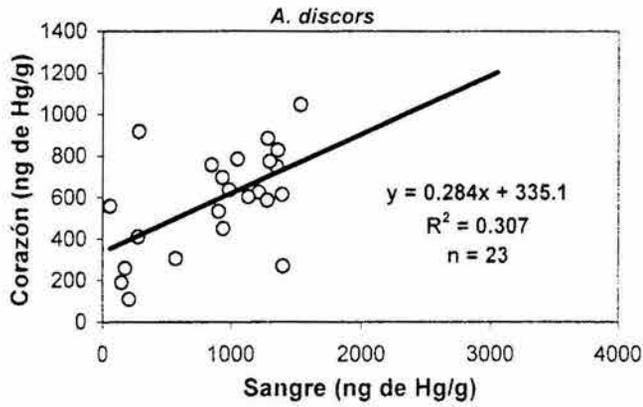


Figura 8e. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre tejidos distintos de *A. discors* y *A. acuta* (línea de tendencia y ecuación de la recta).

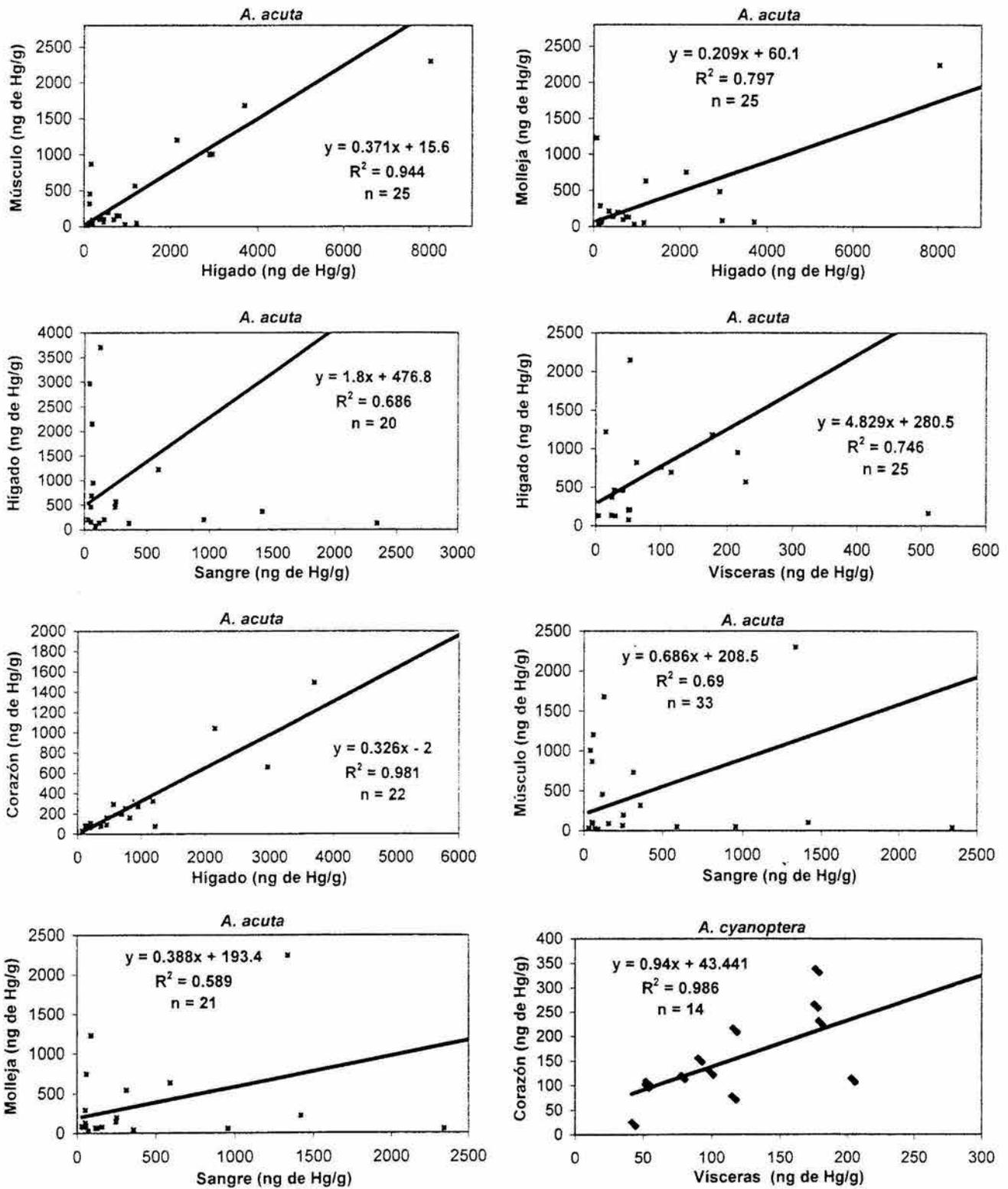


Figura 8f. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre tejidos de *A. acuta* y *A. cyanoptera* (línea de tendencia y ecuación de la recta).

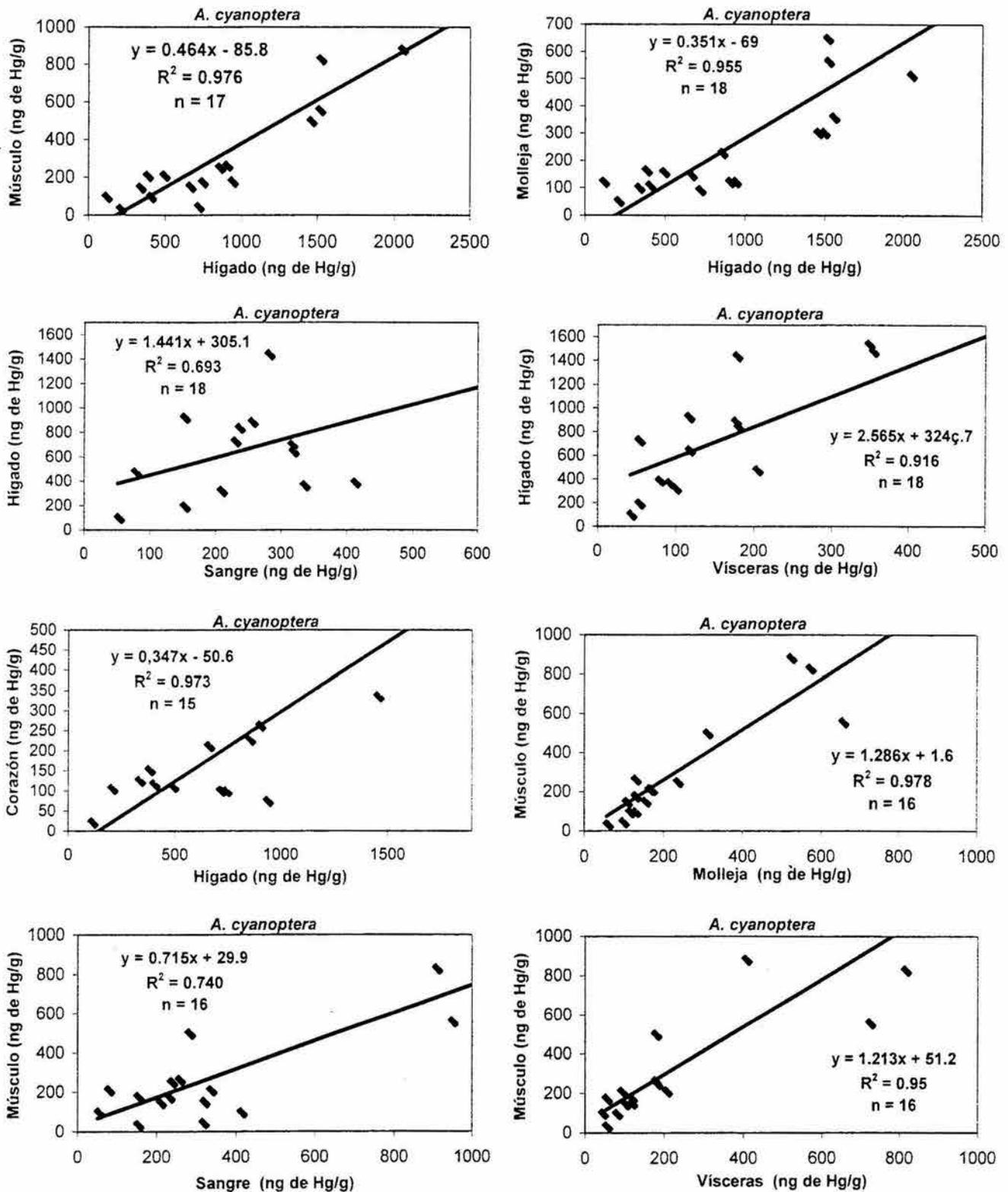


Figura 8g. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre distintos tejidos de *A. cyanoptera* (línea de tendencia y ecuación de la recta).

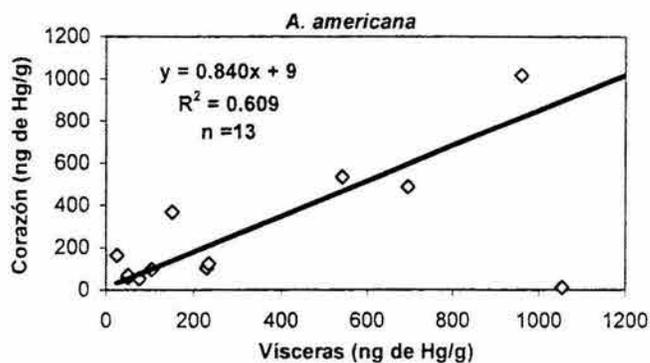
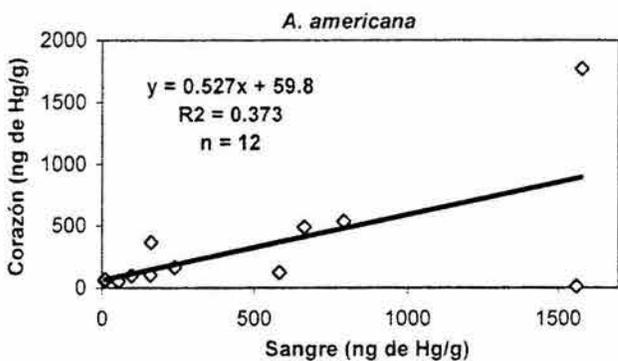
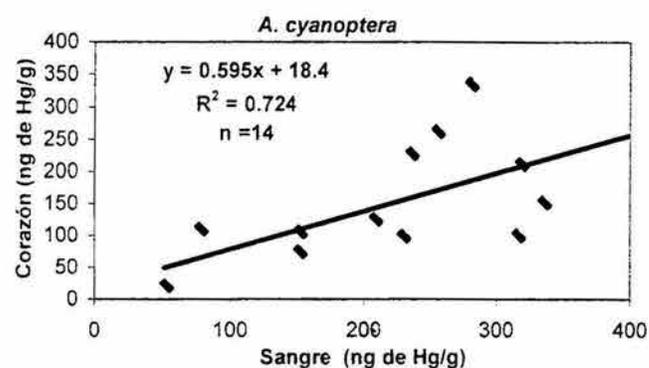
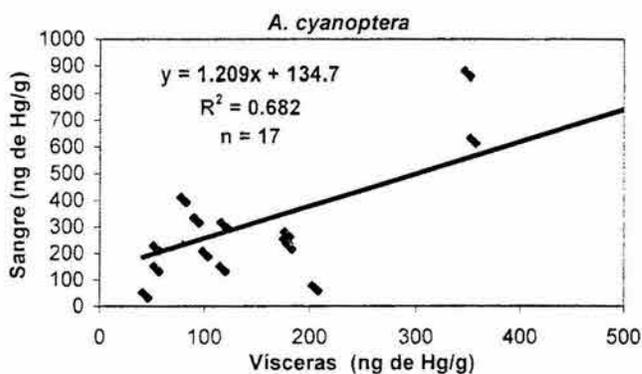
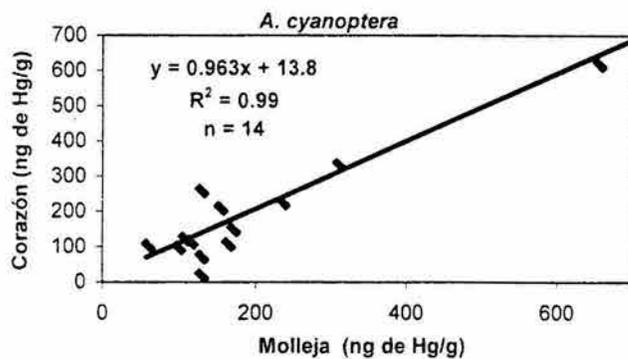
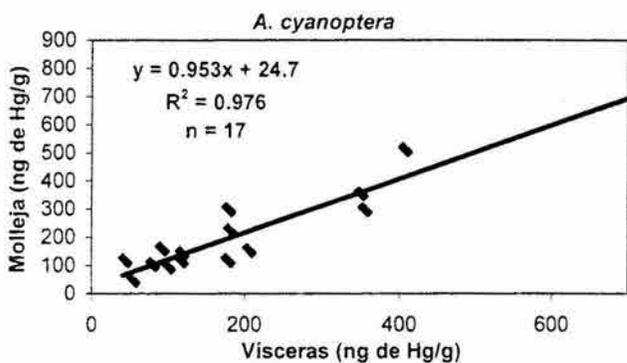
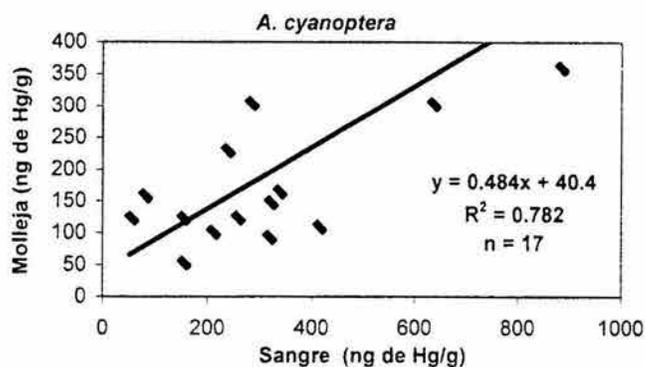
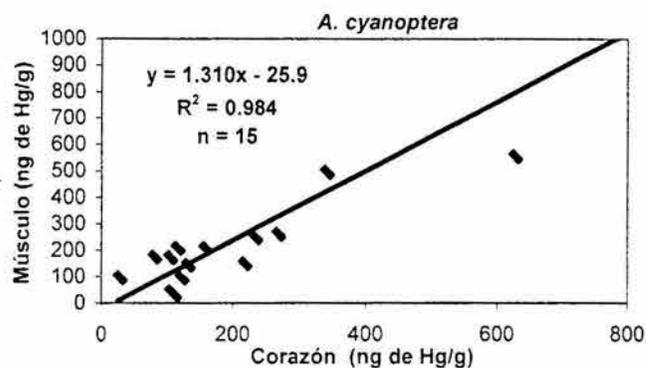


Figura 8h. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre distintos tejidos de *A. cyanoptera* y *A. americana* (línea de tendencia y ecuación de la recta).

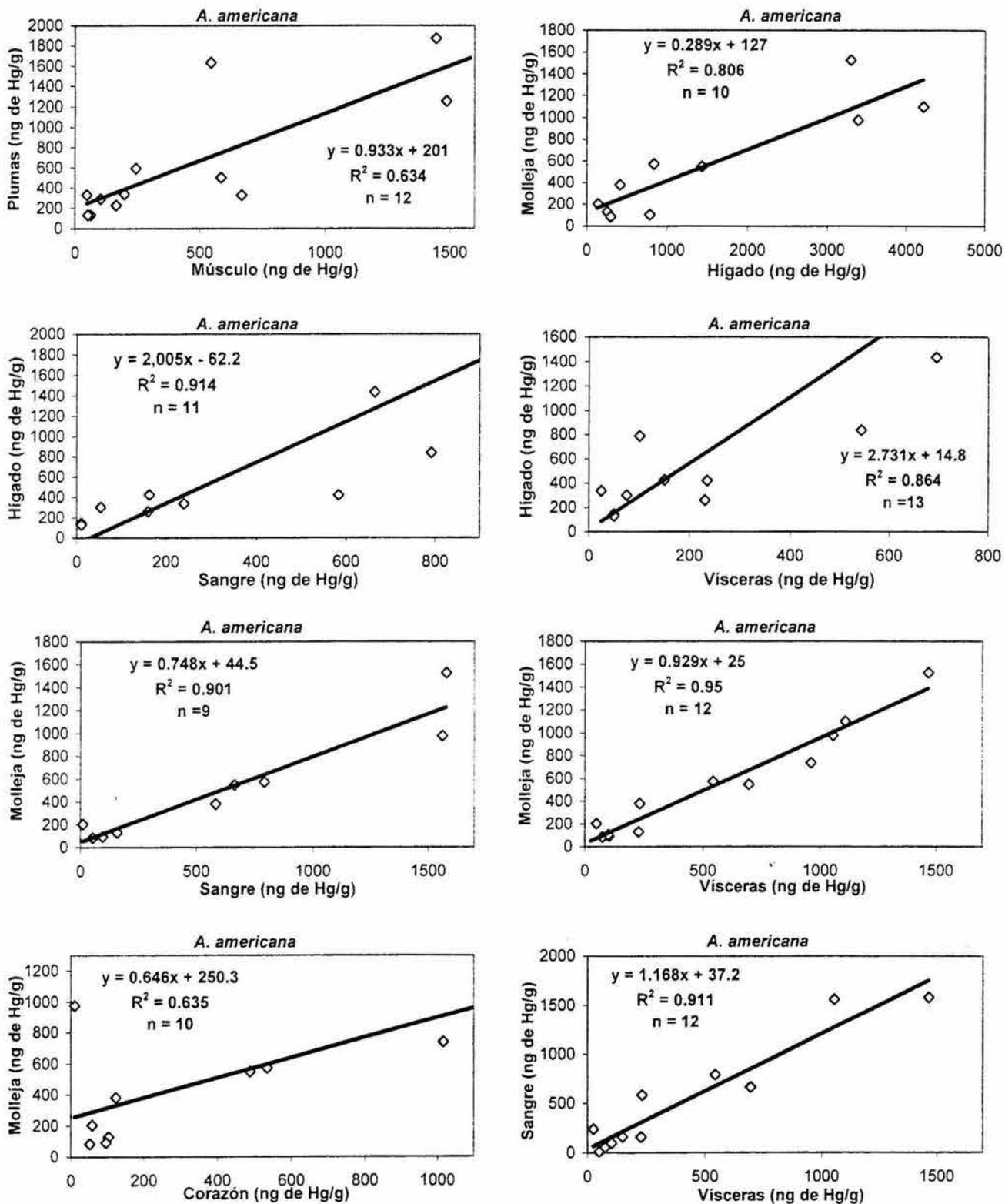


Figura 8i. Gráficas de correlación de la concentración de Hg entre distintos tejidos de *A. americana* (línea de tendencia y ecuación de la recta).

8.8 Comparación de los niveles de concentración de Hg entre especies

En la Tabla 6 se presentan los promedios de la concentración de Hg en plumas, acumulado en las distintas especies estudiadas y las comparaciones realizadas mediante ANOVAS de una vía, con el objeto de identificar diferencias o similitudes de exposición a este tóxico entre las distintas especies. Los niveles de concentración de mercurio en plumas, se presentan en promedio más altos en *P. brasiliensis*, *A. clypeata* y *A. discors*, no encontrando diferencias significativas entre estas tres especies, lo cual evidencia un mismo grado de exposición del metal analizado y un mismo metabolismo para estas tres especies en las plumas. Seguido de estas tres especies, se encuentra *A. cyanoptera*, la cual no presenta diferencias estadísticamente significativas con *A. clypeata* y *A. discors*, aunque sí con *P. brasiliensis*, debido muy probablemente a la diferencia en los hábitos alimenticios (Tabla 13). Por su parte, *A. affinis* es una de las especies que presenta los niveles de concentración más altos de mercurio en plumas en este estudio. Por su parte, *A. cyanoptera* presenta cierta tendencia a concentrar el metal en cuestión, en los mismos niveles que en *A. crecca*.

En los niveles de concentración medios de Hg en plumas, se encontró *A. crecca*, la cual es diferente de manera significativa a las primeras tres especies que más acumulan Hg en este tejido y a *D. autumnalis*. *A. crecca* no presenta diferencias con *A. acuta* y *A. americana*, asimismo estas dos no presentan diferencias entre ellas, aunque sí con el resto de las especies estudiadas, lo cual evidencia una misma exposición y metabolismo al tóxico entre estas dos especies. Por su lado, *D. autumnalis*, según las pruebas estadísticas realizadas (Tabla 6), se presenta como la especie que menos mercurio acumula en plumas, en comparación con las otras aves estudiadas. Dado que es una especie residente y con

hábitos alimenticios semejantes a *A. affinis*, se puede deducir que ello se debe a que en Sinaloa los niveles de Hg son más bajos en el ambiente costero comparado con los lugares de donde son originarias las aves migratorias estudiadas.

En la Tabla 7, podemos notar en el hígado, que las primeras cuatro especies (*P. brasiliensis*, *A. clypeata*, *A. affinis*, *A. discors*), son las que presentan los promedios más altos de Hg, acumulándolo de manera similar, ya que no presentan diferencias significativas entre ellas. Sin embargo, estas cuatro especies mencionadas si resultaron con concentraciones significativamente más elevadas que *A. acuta*, *A. americana*, *A. cyanoptera* y *A. crecca*, que acumulan menos Hg. Asimismo estas cuatro especies no resultaron con diferencias significativas entre si. Por su parte, *D. autumnalis*, fue la que tuvo la concentración en el hígado significativamente más baja de Hg, comparada con el resto de las especies (Tabla 7).

Los niveles de concentración de Hg en el músculo pectoral fueron significativamente más altos en *P. brasiliensis*. Seguido de *P. brasiliensis* se encuentra *A. clypeata* (Tabla 8), la cual no presentó diferencias significativas con *A. discors*, *A. affinis*, *A. americana*, por lo que se puede afirmar que estas cuatro especies presentan un grado similar de exposición y metabolismo a este tóxico, en el músculo. *A. discors* según la prueba estadística aplicada (Tabla 8), concentra significativamente menos mercurio que *P. brasiliensis* y más que *D. autumnalis*, *A. acuta* además de conservar esta tendencia, también presenta diferencias significativas con *A. clypeata*, concentrando menos Hg en el músculo. Por su parte, *A. americana* y *A. affinis* presentan el mismo patrón de concentración que *A. discors* en este mismo tejido. *A. cyanoptera* y *A. crecca* presentan concentraciones medias con la misma tendencia que *A. acuta*, aunque entre *A. discors*, *A. acuta*, *A. americana*, *A. affinis*, *A. cyanoptera* y *A. crecca*, no se encontraron diferencias significativas. Por otra parte, la

pichigüila (*D. autumnalis*), al igual que ocurre con el hígado acumula significativamente menos Hg que el resto de las aves en el músculo.

Tabla 6 - Concentraciones promedio de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en plumas.

Comparación entre especies de la concentración de Hg ^a en plumas									
Especies (Promedio ± DE)	<i>P. brasiliensis</i>	<i>A. clypeata</i>	<i>A. discors</i>	<i>A. cyanoptera</i>	<i>A. affinis</i>	<i>A. crecca</i>	<i>A. acuta</i>	<i>A. americana</i>	<i>D. autumnalis</i>
<i>P. brasiliensis</i> (2422 ± 1316)	-			*		*	*	*	*
<i>A. clypeata</i> (2120 ± 1164)		-				*	*	*	*
<i>A. discors</i> (1707 ± 1002)			-			*	*	*	*
<i>A. cyanoptera</i> (1452 ± 942)	*			-			*	*	*
<i>A. affinis</i> (1378 ± 384)					-		*	*	*
<i>A. crecca</i> (930 ± 659)	*	*	*			-			*
<i>A. acuta</i> (970 ± 890)	*	*	*	*	*		-		*
<i>A. americana</i> (637 ± 603)	*	*	*	*	*			-	*
<i>D. autumnalis</i> (289 ± 264)	*	*	*	*	*	*	*	*	-

DE, desviación estándar; ^a, Prueba estadística aplicada ANOVA de una vía con el *ln* de la concentración (Prueba Post hoc de Probabilidad: Duncan test, para comparaciones múltiples, $\alpha = 0.05$); *, Presenta diferencias estadísticamente significativas a $p < 0.05$; -, Concentración de Hg de la especie que se compara con el Hg acumulado en el resto de las especies (Zar, 1984).

La comparación entre especies de la concentración del mercurio acumulado en la molleja, resultó al igual que en el músculo, significativamente más alta en *P. brasiliensis*, que el resto de las aves estudiadas y la especie *D. autumnalis* presentó las concentraciones significativamente más bajas. Las distintas concentraciones promedios del tóxico analizado

por especie en la molleja y el resultado de las comparaciones estadísticas realizadas, se muestran en la Tabla 9, en la cual se observa que *A. discors*, fue la especie que acumuló más mercurio en promedio después del cormorán oliváceo (*P. brasiliensis*), aunque no presentó diferencias estadísticamente significativas con *A. clypeata*, *A. affinis* y *A. americana*. Después, la especie que le siguió en acumular más Hg en promedio en este mismo tejido, fue precisamente *A. clypeata*, la cual además de no presentar diferencias significativas con las mismas especies (*A. affinis* y *A. americana*), no presentó diferencias importantes con *A. crecca*. A la especie *A. clypeata*, le siguieron *A. americana* y *A. affinis*, no obstante, presentaron casi la misma tendencia que el pato cucharón, solo que además no presentaron diferencias estadísticamente significativas con *A. cyanoptera*, aunque si con *A. acuta* (Tabla 9). El pato golondrino (*A. acuta*), presenta una misma tendencia significativa de exposición y metabolismo al tóxico, igual que *A. cyanoptera* y *A. crecca*. Estas dos últimas especies presentan la misma concentración promedio de Hg, aunque desviaciones estándar muy distintas, sin embargo no difieren estadísticamente, lo cual evidencia un mismo grado de exposición y metabolismo al metal analizado en este tejido.

En la sangre como ocurrió en los casos anteriores, la especie que acumuló más Hg es el cormorán oliváceo, aunque no presentó diferencias significativas con *A. clypeata* y *A. discors* (Tabla 10). Después de *P. brasiliensis*, *A. affinis* presentó el nivel de concentración promedio más alto que el resto de las especies analizadas, sin embargo sólo se encontraron diferencias significativas con el cormorán oliváceo. Posteriormente la otra especie que más acumuló mercurio en este tejido, después del cormorán oliváceo y el pato boludo (*A. affinis*), fue el pato cucharón (*A. clypeata*), el cual presentó una concentración significativamente más alta que el pato golondrino (*A. acuta*), el pato cerceta café (*A. cyanoptera*), el pato Chalcuán (*A. americana*) y la pichigüila (*D. autumnalis*). Por su parte, *A. discors* acumuló

más mercurio que *A. acuta* y *A. americana* en la sangre de manera estadísticamente significativa. *A. acuta* y *A. americana*, presentaron concentraciones significativamente más bajas que *P. brasiliensis*, *A. clypeata* y *A. discors*, en cambio *A. crecca* acumuló menos Hg que *P. brasiliensis*. Por lo que respecta a la cerceta café (*A. cyanoptera*) y la pichigüila (*D. autumnalis*), como es de notar, solo presentaron niveles significativamente bajos de concentración del Hg que el cormorán oliváceo y el pato cucharón.

Tabla 7. Concentraciones promedios de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en el hígado.

		Comparación entre especies de la concentración de Hg ^a en el hígado							
Especies (Promedio ± DE)	<i>P. brasiliensis</i>	<i>A. clypeata</i>	<i>A. affinis</i>	<i>A. discors</i>	<i>A. acuta</i>	<i>A. americana</i>	<i>A. cyanoptera</i>	<i>A. crecca</i>	<i>D. autumnalis</i>
<i>P. brasiliensis</i> (4052 ± 2135)	-				*	*	*	*	*
<i>A. clypeata</i> (2885 ± 1846)		-			*	*	*	*	*
<i>A. affinis</i> (2472 ± 1949)			-		*	*	*	*	*
<i>A. discors</i> (2127 ± 857)				-	*	*	*	*	*
<i>A. acuta</i> (1756 ± 3305)	*	*	*	*	-				*
<i>A. americana</i> (1229 ± 1430)	*	*	*	*		-			*
<i>A. cyanoptera</i> (1203 ± 1420)	*	*	*	*			-		*
<i>A. crecca</i> (1172 ± 1042)	*	*	*	*				-	*
<i>D. autumnalis</i> (235 ± 215)	*	*	*	*	*	*	*	*	-

DE, desviación estándar; ^a, Prueba estadística aplicada ANOVA de una vía con el *ln* de la concentración (Prueba Post hoc de Probabilidad: Duncan test, para comparaciones múltiples, $\alpha = 0.05$); *, Presenta diferencias estadísticamente significativas a $p < 0.05$; -, Concentración de Hg de la especie que se compara con el Hg acumulado en el resto de las especies (Zar, 1984).

En las vísceras, al igual que otros tejidos, fue en el *P. brasilianus* donde se encontraron los niveles de concentración más altos de mercurio en comparación con la mayor parte de las aves estudiadas, exceptuando a *A. clypeata*, ya que no se presentaron diferencias estadísticamente significativas con esta especie, lo cual se muestra en la Tabla 11. En dicha Tabla podemos notar que el pato boludo (*A. affinis*) presentó concentraciones estadísticamente más altas que el pato golondrino (*A. acuta*) y la pichigüila (*D. autumnalis*), aunque en esta especie se encontraron los promedios más altos después del cormorán oliváceo. En el pato cerceta aliazul clara (*A. discors*) se registró la misma tendencia que en el pato boludo. El pato cucharón (*A. clypeata*) presentó concentraciones significativamente mayores que el pato golondrino (*A. acuta*) y la pichigüila (*D. autumnalis*) en las vísceras. *A. americana*, *A. cyanoptera* y *A. crecca* presentaron concentraciones significativamente mayores que *D. autumnalis*. El pato golondrino (*A. acuta*), presentó concentraciones similares al pato cerceta ala verde (*A. crecca*), al pato chalcuán (*A. americana*) y el pato cerceta café (*A. cyanoptera*), según las pruebas estadísticas realizadas (Tabla 11). *D. autumnalis* presentó los valores más bajos comparado con la mayoría de las especies estudiadas, exceptuando al pato golondrino, con el cual no presentó diferencias significativas en vísceras.

Por otra parte, en la Tabla 12 se registraron los promedios de la concentración del metal analizado en los corazones de las aves estudiadas, asimismo se presentan las comparaciones realizadas por ANOVA de una vía, para conocer las diferencias significativas en la acumulación del Hg encontrado en el corazón de estos organismos. En dicha Tabla podemos notar que el resultado de las comparaciones realizadas, arroja una tendencia muy similar a la encontrada en las vísceras, ya que el *P. brasilianus* se destaca como la especie que más mercurio acumula en el corazón, de manera significativa comparada con el resto de

las especies, aunque al igual que en las vísceras no de manera estadísticamente significativa con *A. clypeata*.

Tabla 8. Concentraciones promedios de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en el músculo.

Especies Promedio ± D.E.	Comparación entre especies de la concentración de Hg en músculo ^a								
	<i>P. brasilianus</i>	<i>A. clypeata</i>	<i>A. discors</i>	<i>A. acuta</i>	<i>A. americana</i>	<i>A. affinis</i>	<i>A. cyanoptera</i>	<i>A. crecca</i>	<i>D. autumnalis</i>
<i>P. brasilianus</i> (1368 ± 659)	-	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>A. clypeata</i> (830 ± 557)	*	-		*			*	*	*
<i>A. discors</i> (777 ± 584)	*		-						*
<i>A. acuta</i> (669 ± 1236)	*	*		-					*
<i>A. americana</i> (579 ± 567)	*				-				*
<i>A. affinis</i> (577 ± 467)	*					-			*
<i>A. cyanoptera</i> (455 ± 705)	*	*					-		*
<i>A. crecca</i> (319 ± 247)	*	*						-	*
<i>D. autumnalis</i> (46 ± 33)	*	*	*	*	*	*	*	*	-

D.E., desviación estándar; ^a, Prueba estadística aplicada ANOVA de una vía con el *ln* de la concentración (Prueba Post hoc de Probabilidad: Duncan test, para comparaciones múltiples, $\alpha = 0.05$); *, Presenta diferencias estadísticamente significativas a $p < 0.05$; -, Concentración de Hg de la especie que se compara con el Hg acumulado en el resto de las especies. (Zar, 1984).

En *A. affinis* aún presentando la concentración de mercurio en promedio más alta, después del cormorán oliváceo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas con 5 especies que presentan promedios más bajos (*A. discors*, *A. crecca*, *A. cyanoptera*, *A. americana*, *A. acuta*), sin embargo de acuerdo a lo registrado en la Tabla 12,

se presentaron diferencias significativas con *A. clypeata*, *P. brasiliensis* y *D. autumnalis*. El pato cucharón (*A. clypeata*) además de no presentar diferencias importantes con el cormorán oliváceo, no presentó con el pato cerceta aliazul (*A. discors*) y con la pichigüila (*D. autumnalis*). En *A. discors* se registraron concentraciones equivalentes a *A. clypeata*, pero además a *A. americana*, *A. crecca* y *D. autumnalis*.

Tabla 9. Concentraciones promedios de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en mollejas.

Especies (Prom. ± D.E.)	Comparación entre especies de la concentración de Hg ^a en mollejas								
	<i>P. brasiliensis</i>	<i>A. discors</i>	<i>A. clypeata</i>	<i>A. americana</i>	<i>A. affinis</i>	<i>A. acuta</i>	<i>A. crecca</i>	<i>A. cyanoptera</i>	<i>D. autumnalis</i>
<i>P. brasiliensis</i> (1561 ± 588)	-	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>A. discors</i> (665 ± 447)	*	-				*	*	*	*
<i>A. clypeata</i> (621 ± 400)	*		-			*		*	*
<i>A. americana</i> (538 ± 470)	*			-		*			*
<i>A. affinis</i> (493 ± 455)	*				-	*			*
<i>A. acuta</i> (432 ± 759)	*	*	*	*	*	-			*
<i>A. crecca</i> (362 ± 318)	*	*					-		*
<i>A. cyanoptera</i> (362 ± 523)	*	*	*					-	*
<i>D. autumnalis</i> (78 ± 30)	*	*	*	*	*	*	*	*	-

D.E., desviación estándar; ^a, Prueba estadística aplicada ANOVA de una vía con el *ln* de la concentración (Prueba Post hoc de Probabilidad: Duncan test, para comparaciones múltiples, $\alpha = 0.05$); *, Presenta diferencias estadísticamente significativas a $p < 0.05$; -, Concentración de Hg de la especie que se compara con el Hg acumulado en el resto de las especies. (Zar, 1984).

El pato golondrino tuvo diferencias significativas con: *A. discors*, *A. clypeata*, *P. brasiliensis* y *D. autumnalis*, las primeras tres especies con concentraciones considerablemente mayores y la última significativamente menor. Por su parte, la cerceta ala verde (*A. crecca*) y el pato Chalcuán (*A. americana*), presentaron valores de concentración del metal analizado significativamente menores al cormorán oliváceo y al pato cucharón, pero mayores a la pichigüila. La cerceta café (*A. cyanoptera*) por su lado, presentó la misma tendencia que el pato golondrino (*A. acuta*), aunque en promedio menor concentración de mercurio (Tabla 12). Finalmente la pichigüila (*D. autumnalis*) como sucede en la mayor parte de los tejidos, presentó el nivel más bajo de concentración de mercurio en el corazón, comparado con la mayor parte de las especies estudiadas, exceptuando desde luego a *A. clypeata* y *A. discors*.

Las aves han sido ampliamente usadas como bioindicadores para monitorear la concentración de los metales pesados en el medio ambiente debido a su amplio rango de distribución geográfica y a que se encuentran en el más alto nivel trófico en la cadena alimenticia (Eun-Young, *et al.*, 1996). Los niveles de metales pesados en aves dependen del tipo de alimento, intensidad y ritmo con el que forrajean las áreas de donde se alimentan y una variedad de procesos fisiológicos (Joseph *et al.*, 1982; Di Giulio & Sanlon, 1984; Goede & Voot, 1985; Honda *et al.*, 1986; Norhem, 1987; Elliott *et al.*, 1992). Particularmente, elementos tóxicos como el Hg, son conocidos por exhibir grandes variaciones intra e interespecíficas (Eun-Young, *et al.*, 1996) y en general, las especies que son más altas en la cadena alimenticia acumulan niveles de contaminantes más altos. Las aves que pertenecen a un nivel alto en la cadena alimenticia y comen peces grandes, podrían acumular más altos niveles que aquella que comen un rango de comidas diferentes, o que comen peces más pequeños, por lo que lo aves podrían reflejar los niveles del pez que ellas

comen (Burger, 2002). En general, los peces carnívoros tienen niveles más altos que los herbívoros, omnívoros (Phillips *et al.*, 1980), y los grandes carnívoros tienen niveles mayores que pequeños carnívoros (Lacerda *et al.*, 1994).

Tabla 10. Concentraciones promedios de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en la sangre.

Especies (Promedio ± D.E.)	Comparación entre especies de la concentración de Hg ^a en sangre								
	<i>P. brasiliensis</i>	<i>A. affinis</i>	<i>A. clypeata</i>	<i>A. discors</i>	<i>A. acuta</i>	<i>A. crecca</i>	<i>A. americana</i>	<i>A. cyanoptera</i>	<i>D. autumnalis</i>
<i>P. brasiliensis</i> (2550 ± 1134)	-	*			*	*	*	*	*
<i>A. affinis</i> (1378 ± 1507)	*	-							
<i>A. clypeata</i> (1145 ± 731)			-		*		*	*	*
<i>A. discors</i> (1117 ± 592)				-	*		*		
<i>A. acuta</i> (769 ± 1649)	*		*	*	-				
<i>A. crecca</i> (526 ± 417)	*					-			
<i>A. americana</i> (493 ± 567)	*		*	*			-		
<i>A. cyanoptera</i> (414 ± 325)	*		*					-	
<i>D. autumnalis</i> (115 ± 49)	*		*						-

D.E., desviación estándar; ^a, Prueba estadística aplicada ANOVA de una vía con el *ln* de la concentración (Prueba Post hoc de Probabilidad: Duncan test, para comparaciones múltiples, $\alpha = 0.05$); *, Presenta diferencias estadísticamente significativas a $p < 0.05$; -, Concentración de Hg de la especie que se compara con el Hg acumulado en el resto de las especies. (Zar, 1984).

En las aves estudiadas en este trabajo, podemos observar que estas tendencias se conservan, específicamente en los niveles de concentración que se presentan en el

cormorán oliváceo (*P. brasiliensis*) con respecto al resto de las aves en la mayor parte de los tejidos analizados, ya que de acuerdo a los hábitos alimenticios el cormorán oliváceo se alimenta principalmente de peces y anfibios, lo cual lo coloca en un nivel superior en la cadena alimenticia, por lo tanto a acumular más mercurio en los distintos tejidos, independientemente de su área de movimiento (Tabla 13).

Tabla 11. Concentraciones promedios de Hg (ng/g) y comparación estadística por especies en vísceras.

Especies	Comparación entre especies de la concentración de Hg ^a en vísceras								
	<i>P. brasiliensis</i>	<i>A. affinis</i>	<i>A. discors</i>	<i>A. clypeata</i>	<i>A. americana</i>	<i>A. cyanoptera</i>	<i>A. crecca</i>	<i>A. acuta</i>	<i>D. autumnalis</i>
<i>P. brasiliensis</i> (1041 ± 175)	-	*	*		*	*	*	*	*
<i>A. affinis</i> (602 ± 660)	*	-						*	*
<i>A. discors</i> (590 ± 429)	*		-					*	*
<i>A. clypeata</i> (585 ± 329)				-				*	*
<i>A. americana</i> (456 ± 480)	*				-				*
<i>A. cyanoptera</i> (353 ± 543)	*					-			*
<i>A. crecca</i> (371 ± 317)	*						-		*
<i>A. acuta</i> (316 ± 582)	*	*	*	*				-	
<i>D. autumnalis</i> (70 ± 28)	*	*	*	*	*	*	*		-

D.E., desviación estándar; ^a, Prueba estadística aplicada ANOVA de una vía con el *ln* de la concentración (Prueba Post hoc de Probabilidad: Duncan test, para comparaciones múltiples, $\alpha = 0.05$); *, Presenta diferencias estadísticamente significativas a $p < 0.05$; -, Concentración de Hg de la especie que se compara con el Hg acumulado en el resto de las especies. (Zar, 1984).

Con la Pichigüila (*D. autumnalis*) ocurre lo contrario que en el cormorán oliváceo, ya que se trata de una ave omnívora (Tabla 13) y además que se trata de una especie residente de las costas de Sinaloa y los niveles de Hg son muy probablemente inferiores a los que se puede encontrar en otros lugares como Norteamérica comparado con el resto de las anátidas, por lo que a esto se le puede atribuir que exhiba las concentraciones más bajas de Hg en la mayor parte de los tejidos que las aves migratorias estudiadas.

Tabla 12. Concentraciones promedios de Hg (ng/g) y comparación estadísticas por especies en el corazón.

Comparación entre especies de la concentración de Hg ^a en corazón									
Especies Promedio ± D.E.	<i>P. brasilianus</i>	<i>A. affinis</i>	<i>A. clypeata</i>	<i>A. discors</i>	<i>A. acuta</i>	<i>A. crecca</i>	<i>A. americana</i>	<i>A. cyanoptera</i>	<i>D. autumnalis</i>
<i>P. brasilianus</i> (1702 ± 611)	-	*		*	*	*	*	*	*
<i>A. affinis</i> (1102 ± 981)	*	-	*	*					*
<i>A. clypeata</i> (948 ± 777)		*	-		*	*	*	*	
<i>A. discors</i> (622 ± 307)	*			-	*			*	
<i>A. acuta</i> (492 ± 1037)	*		*	*	-				*
<i>A. crecca</i> (463 ± 448)	*		*			-			*
<i>A. americana</i> (373 ± 507)	*		*				-		*
<i>A. cyanoptera</i> (325 ± 557)	*		*	*				-	*
<i>D. autumnalis</i> (129 ± 63)	*	*			*	*	*	*	-

D.E., desviación estándar; ^a, Prueba estadística aplicada ANOVA de una vía con el *ln* de la concentración (Prueba Post hoc de Probabilidad: Duncan test, para comparaciones múltiples, $\alpha = 0.05$); *, Presenta diferencias estadísticamente significativas a $p < 0.05$; -, Concentración de Hg de la especie que se compara con el Hg acumulado en el resto de las especies (Zar, 1984).

En *A. affinis* se encontraron los niveles de concentración promedio de Hg relativamente altos en el hígado, el músculo, la sangre, las vísceras y el corazón, con respecto a la mayoría de las aves que pertenecen al género de *Anas sp* analizadas en este trabajo, aunque en algunos casos las diferencias no se presentaron de manera significativa, se puede decir que muy probablemente en los tejidos donde se presenta tal diferencia, las concentraciones de mercurio presentadas en el pato boludo están determinadas principalmente por la forma de alimentarse, ya que esta ave pertenece a la tribu Aythini. Estos patos se identifican por su hábito alimenticio de sumergir su cuerpo completamente en el agua, utilizando ambientes acuáticos con profundidades hasta de 2.5 m (DUMAC, 2002), por este hecho aún cuando *A. affinis* se encuentra en un nivel similar al de la pichigüila en la cadena trófica (Tabla 13) y con hábitos migratorios al igual que las *Anas sp.* capturadas, se expone muy probablemente a condiciones mayores para la acumulación de mercurio.

El pato cucharón (*A. clypeata*), en las plumas, hígado y músculo presentó los niveles de concentración de Hg promedio más altos después del *P. brasiliensis*. Esta tendencia observada con respecto al resto de las aves capturadas de la tribu anatini (*A. discors*, *A. crecca*, *A. cyanoptera*, *A. americana* y *A. acuta*), podría atribuirse a la manera especial de obtener su alimento debido a la forma de su pico (como cuchara), filtra partículas minuciosamente del alimento con las laminillas largas como peine que se alinean en el borde de su pico, después de rastrear en el agua con su pico, bombeándola hacia afuera con su lengua. El pato cucharón literalmente se aprovecha de las partículas del alimento batidas en la superficie por los otros pájaros que nadan en el área. Estos patos nadan en círculo para crear un torbellino y alimentarse de lo que hacen venir a la superficie, además se zambulle con sus alas para nadar bajo el agua en pantanos bajos (Gooderes y Boyer, 1986; Johnsgard, 1969, Todd, 1979). Probablemente con estos hábitos se expone a una mayor

exposición al mercurio que el resto de las aves de la misma tribu, debido al contacto directo que pueden tener con las partículas del sedimento que se resuspenden con la turbulencia que ocasiona al momento de alimentarse.

A. discors, fue otra especie que presentó promedios relativamente altos en sus tejidos comparados con el resto de las aves y al igual que *A. clypeata* no presentó diferencias significativas en determinados tejidos con *P. brasiliensis*, sin embargo, a diferencia del resto de las especies no presenta una alimentación muy diversificada, ya que se alimenta de semillas pero además de invertebrados acuáticos y pequeños crustáceos (Tabla 17). *A. crecca*, *A. cyanoptera*, *A. americana* y *A. acuta* presentan en la mayor parte de los tejidos concentraciones muy similares, lo cual evidencia un mismo metabolismo y grado de exposición al metal analizado. En relación a su alimentación (Tabla 13), la alimentación es muy similar, aunque diversificada en estas especies, por lo que se podría atribuir a este hecho la similitud en la acumulación de mercurio inter-específica en estas aves. Burger (2002), señala que las diferencias inter-específicas en la acumulación de contaminantes, son determinantes en el forraje de las distintas regiones donde se alimentan las aves, lo cual es difícil de evaluar. Sin embargo, una ventaja de este tipo de estudios, es que proveen una base de datos, los cuales pueden ser usados en el futuro para establecer diferencias entre áreas geográficas específicas.

Tabla 13. Hábitos alimenticios (de acuerdo al tipo de alimento encontrado en los contenidos estomacales y especificado en la literatura), forma de alimentarse y residencialidad de las aves estudiadas.

Especies	Tipo de alimento							Forma de alimentarse*	Área de movimiento ^a
	Semillas marinas	Plantas acuáticas, tallos y hojas	Granos, cereales y plantas terrestres	Insectos y sus larvas	Invertebrados acuáticos y pequeños crustáceos	Moluscos y crustáceos	Peces y anfibios		
<i>A. clypeata</i>	1,2	1,2		1,2	1,2	2		superficial	migratoria
<i>A. crecca</i>	1,3				1,3			superficial	migratoria
<i>A. discors</i>	1				1			superficial	migratoria
<i>A. acuta</i>	1,6		6	1,6	1,6			superficial	migratoria
<i>A. cyanoptera</i>		1,4	4	4	1,4			superficial	migratoria
<i>A. americana</i>		1,5	1,5	1,5	5	5		superficial	migratoria
<i>A. affinis</i>		1						buceo	migratoria
<i>D. autumnalis</i>	8	1		8		8		superficial	residente
<i>P. brasilianus</i>						7	1,7	superficial	residente

1, Alimento encontrado en los contenidos estomacales; 2, Gooderes y Boyer (1986), Todd (1979), Johnsgard (1969); 3, Johnson (1995); 4, Vendarah (1985); 5, Mowbray (1999), Knapton y Pauls (1994); 6, Bellrose (1980), 7, Neuman *et al.* (1997), Bur *et al.* (2000). 8, Peterson y Chalif, 1989. * DUMAC, 2002. ^a, Peterson (1973) y DUMAC (2002).

8.9 Comparación con otros estudios

Con la finalidad de confrontar el presumible nivel de exposición de Hg al que se ven sujetas las aves de este trabajo (Tabla 1 del Anexo 1), con respecto a aves de otros estudios, se llevó a cabo una comparación de los niveles encontrados en aves de la misma zona de estudio con otros sitios del mundo. Por una parte, se plantea la comparación con dos estudios en los cuales se llevó a cabo la determinación de mercurio en el sistema Lagunar Altata-Ensenada-del Pabellón con aves residentes y aves migratorias (Angulo-García, 2002; Arvizu-Merín, 2003 respectivamente), lo cual permite establecer las tendencias de acumulación del metal en la zona de estudio en relación al tiempo (Tabla 18). Por otra parte, se plantea la comparación con las aves migratorias de este estudio contra los niveles encontrados en aves de otras partes del mundo (Tabla 15, 20 y 21), lo cual permite establecer en parte el nivel de acumulación del metal en que se encuentran las aves migratorias estudiadas en las costas de Sinaloa con respecto a otras zonas, incluyendo las zonas de donde son originarias.

En la Tabla 14, se presenta la concentración de mercurio en especies de aves acuáticas de dos trabajos realizados en la misma área de estudio, con el cual podemos comparar los niveles encontrados de dos especies que se estudian aquí (*A. cyanoptera* y *D. autumnalis*). *A. cyanoptera* presentó niveles de concentración considerablemente mayores en este estudio en plumas, hígado, músculo, corazón y vísceras comparado con los niveles encontrados por Angulo-García (2002) en esta misma especie. En *D. autumnalis*, se encontraron niveles de concentración de mercurio similares en este estudio y los niveles obtenidos por Angulo-García (2002) en plumas e hígados, aunque la acumulación promedio de mercurio en el músculo y el corazón de esta especie se presentó mayor en este estudio.

Si comparamos los datos de la Tabla 14, con respecto a los datos que se presentan en la Tabla 5, se tiene que *Recurvirostra americana*, cuya alimentación es similar a las anátidas (Angulo-García, 2002), presenta concentraciones de mercurio mayores en plumas, que las especies estudiadas en este trabajo; asimismo, en el hígado de *R. americana* se encontraron niveles de concentración mayores que los tejidos analizados en este estudio. En *A. clypeata* se presentaron valores mayores de mercurio en el músculo, que en *R. americana*, al igual que *A. discors* y *P. brasiliensis*, los valores de *A. acuta* en el músculo fueron similares a esta especie de ave migratoria. Asimismo, *R. americana* presentó niveles de concentración de mercurio menores en el corazón que *P. brasiliensis*, *A. clypeata*, *A. affinis* y *A. discors*, sin embargo tiene niveles de concentración promedio similares en el corazón a *A. acuta* y *A. crecca*, aunque mayores al resto de las especies estudiadas. En relación a los niveles de concentración de Hg en las vísceras se puede decir que de acuerdo a los datos de la Tabla 14, la única especie que presenta niveles más bajos que *R. americana* es *D. autumnalis*.

La mayor parte de las especies estudiadas en este trabajo presentaron niveles de concentración promedio más altos que *Fulica americana* en plumas la cual es considerada como una especie omnívora (Angulo-García, 2002), no obstante, dos especies presentan niveles similares a esta especie en varios tejidos (*A. crecca* y *A. acuta*). En el hígado de *D. autumnalis*, se tuvo menores niveles de concentración de mercurio, comparado con *F. americana* y el resto de las especies presentaron niveles de concentración promedio más altos, conservándose esta misma tendencia en el músculo y de manera similar en el corazón y las vísceras.

Tabla 14. Niveles de concentración de mercurio (promedio \pm desviación estándar) en aves acuáticas migratorias (Angulo-García, 2002) y residentes (Arvizu-Merín, 2003), capturadas en el complejo lagunar Altata-Ensenada del Pabellón, Sinaloa.

Especies	Tejidos (μg de Hg/g en base a peso seco)				
	Plumas	Hígado	Músculo	Corazón	Visceras
<i>Recurvirostra americana</i> ^M	3.57 \pm 1.19	0.87 \pm 0.55	0.67 \pm 0.63	0.40 \pm 0.22	0.26 \pm 0.18
<i>Fulica americana</i> ^M	1.18 \pm 0.78	0.78 \pm 0.52	0.16 \pm 0.1	0.31 \pm 0.24	0.24 \pm 0.21
<i>Anas cyanoptera</i> ^M	0.5 \pm 0.54	0.15 \pm 0.11	0.26 \pm 0.05	0.15 \pm 0.11	0.07 \pm 0.04
<i>Dendrocygna autumnalis</i> ^R	0.38 \pm 0.27	0.2 \pm 0.16	0.02 \pm 0.02	0.005 \pm 0.007	N.D.
<i>Plegadis chihi</i> ^R	2.23 \pm 1.6	0.42 \pm 0.2	0.3 \pm 0.28	0.42 \pm 0.33	0.09 \pm 0.10
<i>Bubulcus ibis</i> ^R	0.07 \pm 0.02	0.87 \pm 0.02	0.36 \pm 0.16	0.32 \pm 0.3	0.58 \pm 0.09
<i>Phalacrocorax brasilianus</i> ^R	3.19 \pm 1.44	5.08 \pm 1.82	1.13 \pm 0.33	1.62 \pm 0.46	1.02 \pm 0.36
<i>Ardea alba</i> ^R	0.73 \pm 0.72	3.18 \pm 1.86	1.58 \pm 1.10	1.67 \pm 0.74	0.66 \pm 0.28

M, Migratoria; R, Residente; N.D., No disponible.

En la Tabla 14, se presenta los niveles de concentración de mercurio en distintos tejidos de *Pelecanus occidentalis*, considerada un ave piscívora (Arvizu-Merín, 2003), que al comparar sus niveles de concentración de Hg con los de este estudio, se puede notar que la concentración promedio en plumas es similar a la concentración encontrada en *P. brasilianus* y *A. clypeata*, asimismo mayor al resto de las especies analizadas. En el hígado solamente el *P. brasilianus* presenta niveles de concentración en promedio mayores al *P. occidentalis* y el resto de las especies menor, por su parte en el músculo y las visceras, esta especie presentó niveles de concentración mayores que las especies estudiadas en este trabajo.

De acuerdo a los datos mostrados en la Tabla 14 del estudio realizado por Arvizu-Merín (2003), *Plegadis chihi* (especie omnívora) presentó niveles de concentración similares a *P. brasiliensis* y *A. clypeata* en plumas, aunque mayores que el resto de las especies estudiadas en este trabajo. Sin embargo, el hígado presentó concentraciones de Hg menores con respecto a casi todas las especies de este trabajo, exceptuando a *D. autumnalis*, la cual presentó menor acumulación del Hg al compararla con *P. chihi* en este tejido.

La especie *Bubulcus ibis*, cuya alimentación es similar a las anátidas aunque prefiere los pastizales donde se alimenta el ganado, presenta menor acumulación de Hg en las plumas que las especies estudiadas en este trabajo. En el hígado se presenta esta misma tendencia, aunque *D. autumnalis* como sucede con el caso anterior, presenta un nivel más bajo de concentración en este tejido, asimismo esta misma tendencia se conserva en músculo, aunque *A. crecca* presenta un nivel de concentración similar a *B. ibis*.

La concentración de mercurio encontrada en los tejidos del cormorán oliváceo (*P. brasiliensis*) de este trabajo se comparó con los niveles encontrados en esta misma especie estudiada por Arvizu-Merín (2003), encontrando que este último presenta mayor acumulación de mercurio en las plumas, en el hígado y las vísceras, aunque menor concentración del metal, en el músculo y el corazón que el presente trabajo.

La especie *Ardea alba*, que su alimentación consiste principalmente en peces, crustáceos, insectos y otros organismos (Hill, 2001), presentó mayor acumulación que *A. americana* y *D. autumnalis*, pero menor que el resto de las aves estudiadas en las plumas.

Tanto el hígado, el corazón y las vísceras de *A. alba*, presentaron niveles de Hg mayores que la mayoría de las especies de este estudio, exceptuando al *P. brasiliensis*, el cual presentó niveles más altos (Tabla 5).

Tabla 15. Niveles de concentración de mercurio en plumas de distintas aves acuáticas de diferentes localidades.

Especies	Localidades	Concentración (ng de Hg/g)	
		Prom. ± D.E.	Rango
Piscívoras			
<i>Phalacrocorax auritus</i>	Lago Clear, E.U.A. ¹	2360	1970-3160
<i>Phalacrocorax auritus</i>	Reservas Naturales, E.U.A. ²	2980	1400-5300
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Lago Biwa, Japón ³	2900 ± 800	-
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Tokio, Japón ³	1900 ± 600	-
<i>P. brasiliensis</i>	Costas de Sinaloa ⁷	2422 ± 1316	-
<i>Diomedea nigripes</i>	Atoll Midway, E.U.A. ⁴	19600 ± 1750	-
Omnívoras			
<i>A. clypeata</i>	Costas de Sinaloa ⁷	2120 ± 1164	-
<i>A. discors</i>	Costas de Sinaloa ⁷	1707 ± 1002	-
<i>A. cyanoptera</i>	Costas de Sinaloa ⁷	1452 ± 942	-
<i>Larus argentatus H</i>	Minsener Oldeog, Alemania ⁵	4870 ± 2040	9400-2150
<i>Larus argentatus M</i>	Minsener Oldeog, Alemania ⁵	6410 ± 2390	10940-3650
<i>A. crecca</i>	Costas de Sinaloa ⁷	930 ± 659	-
<i>A. americana</i>	Costas de Sinaloa ⁷	637 ± 603	-
<i>Anas acuta</i>	Noreste de Siberia ⁶	330	ND
<i>A. acuta</i>	Costas de Sinaloa ⁷	970 ± 890	-
<i>D. autumnalis</i>	Costas de Sinaloa ⁷	289 ± 264	-

¹ Wolfe & Norman (1998); ² Caldwell *et al.* (1999); ³ Saeki *et al.* (2000); ⁴ Burger & Gochfeld (2000); ⁵ Lewis *et al.* (1993); ⁶ Kim *et al.* (1996); ⁷ Este trabajo. ND, No disponible.

Por su parte, si comparamos los niveles de concentración de Hg en plumas del cormorán oliváceo (*P. brasiliensis*) de este trabajo con otros estudios realizados en otros

sitios del mundo, con especies del mismo género (Tabla 15), se puede notar que los niveles de *P. brasiliensis* se presentan de manera similar al *P. auritus* del lago Clear, EUA (Wolfe y Norman, 1998), menores a esta misma especie en las reservas naturales, EUA (Caldwell *et al.*, 1999), similar al *P. carbo* estudiado en Lago Biwa, Japón, y mayores a esta misma especie de un estudio realizado en Tokio, Japón (Saeki *et al.*, 2000).

Algunas especies como *Diomedea nigripes* (piscívora) de Atoll Midway, EUA (Burger y Gochfeld, 2000) y *Larus argentatus*, especie omnívora del Minsener Oldeoog, Alemania (Lewis *et al.*, 1993) presentan niveles de mercurio en las plumas mucho más altos que los registrados en este estudio.

Por su parte, la acumulación de mercurio en plumas de *A. acuta* en este estudio comparado con otro realizado en el Noroeste de Siberia (Kim *et al.* 1996), resultó considerablemente más alta en el presente trabajo (Tabla 15).

Los niveles de mercurio en el hígado, encontrados en el cormorán oliváceo (*P. brasiliensis*) en este trabajo, resultaron mayores a los del *Phalacrocorax auritus* del Lago Clear, EUA (Wolfe y Norman, 1998), sin embargo se encontraron niveles de concentración de Hg considerablemente menores a los encontrados en esta misma especie en otra parte de los EUA (Caldwell *et al.*, 1999), asimismo en *P. carbo* en el Lago Biwa, Japón y en esta misma especie en Tokio, Japón (Saeki *et al.*, 2000), se encontraron niveles muy altos de mercurio comparado con los encontrados en el cormorán oliváceo aquí estudiado (Tabla 16). Estas mismas tendencias se encontraron al comparar los niveles de Hg del hígado del cormorán oliváceo con los niveles de este metal en el hígado de una especie del mismo

género (*P. carbo*), estudiadas en Delta Po, Italia (Niogrio y Lionzio, 1996) y la región Olsztyn-Mragowo, Polonia (Fabczak *et al.*, 2000). Los niveles de concentración de estas especies se presentan en la Tabla 16.

Los niveles de concentración de Hg en el hígado de *Larus argentatus*, especie omnívora de Minsener Oldeog, Alemania (Lewis *et al.*, 1993), y *Fulica americana* de Isla Mare, San Francisco en Estados Unidos de América (Hui, 1998a) se presentaron de igual manera superiores a los encontrados en este trabajo, principalmente en el estudio realizado con *F. americana* que presenta niveles de concentración promedio hasta de 9150 ng de Hg/g en el hígado.

Para el caso de la especie *C. semipalmatus*, cuya alimentación consiste principalmente de invertebrados acuáticos, analizada en California, EUA (Hui, 1998b), los niveles de acumulación del mercurio se presentan en un intervalo intermedio entre los niveles encontrados en las especies estudiadas en este trabajo, ya que se presenta con un promedio de concentración del metal mayor que *A. americana*, *A. cyanoptera*, *A. crecca* y *D. autumnalis*, pero más bajo que la concentración promedio del resto de las especies estudiadas.

Dos especies de la familia anatidae (del género *Somateria sp.*) fueron estudiadas en Greeland del Ártico por Nielsen y Dietz (1989). Una de ellas (*S. millissima*), presenta niveles de concentración superiores en hígado que los encontrados en las especies de esta misma familia estudiadas en el presente trabajo, y otra especie (*S. spectabilis*) presenta

niveles de concentración menores a *A. clypeata*, *A. affinis* y *A. discors*, y mayores a *A. acuta*, *A. americana*, *A. crecca*, *A. cyanoptera* y *D. autumnalis* en este mismo tejido.

Tabla 16. Niveles de concentración de mercurio en el hígado de distintas aves acuáticas de diferentes localidades.

Especies	Localidades	Concentración (ng de Hg/g)	
		Prom. ± D.E.	Rango
Piscívoras			
<i>Phalacrocorax auritus</i>	Lago Clear, E.U.A. ¹	1460	1320-1710
<i>Phalacrocorax auritus</i>	E.U.A. ²	36708	-
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Lago Biwa, Japón ³	7820 ± 3680	-
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Tokio, Japón ³	5520 ± 2300	-
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Delta Po. Italia ⁴	131000	-
<i>Phalacrocorax carbo</i>	Región Olsztyn-Mragowo, Polonia ⁵	2183	1300-3200
<i>P. brasilianus</i>	Costas de Sinaloa ¹¹	4052 ± 2135	-
Omnívoras			
<i>Larus argentatus</i>	Minsener Oldeog, Alemania ⁶	4720 ± 2900	3650-10940
<i>Anas clypeata</i>	Costas de Sinaloa ¹¹	2885 ± 1846	-
<i>Aythya affinis</i>	Costas de Sinaloa ¹¹	2472 ± 1949	-
<i>Fulica americana</i>	Isla Mare, San Francisco (E.U.A.) ⁷	9150	-
<i>Catoptrophorus semipalmatus</i>	California, E.U.A. ⁷	1670 ± 570	-
<i>A. discors</i>	Costas de Sinaloa ¹¹	2127 ± 857	-
<i>Somateria mollissima</i>	Greenland, 1984-1986 ⁸	3090 ± 2020	-
<i>Somateria spectabilis</i>	Greenland, 1984-1986 ⁸	2070 ± 1390	-
<i>Somateria mollissima borealis</i>	Este del ártico canadiense, 1997 ⁹	1800 ± 200	1100-3700
<i>Somateria mollissima borealis</i>	Este del ártico canadiense, 1998 ⁹	3900 ± 300	2500-5800
<i>A. americana</i>	Costas de Sinaloa ¹¹	1229 ± 1430	-
<i>A. cyanoptera</i>	Costas de Sinaloa ¹¹	1203 ± 1420	-
<i>A. crecca</i>	Costas de Sinaloa ¹¹	1172 ± 1042	-
<i>Anas acuta</i>	Noreste de Siberia ¹⁰	310	N.D.
<i>A. acuta</i>	Costas de Sinaloa ¹¹	1756 ± 3305	-
<i>D. autumnalis</i>	Costas de Sinaloa ¹¹	235 ± 215	-

¹, Wolfe & Norman (1998); ², Caldwell *et al.* (1999); ³, Saeki *et al.* (2000); ⁴, Niogrio & Lionzio (1996); ⁵, Fabczak *et al.* (2000); ⁶, Lewis *et al.* (1993); ⁷, Hui (1998a; 1998b); ⁸, Nielsen and Dietz (1989); ⁹, Wayland *et al.* (2001); ¹⁰, Kim *et al.* (1996). ¹¹, Este estudio.

En este estudio, *A. acuta* presentó niveles de concentración de Hg en el hígado y el músculo más altos que los encontrados en estos tejidos de esta misma especie en el Norte de Siberia (Kim *et al.*, 1996).

En el músculo de las especies estudiadas en este trabajo se encontraron niveles de concentración de Hg más altos que los obtenidos por Swiergosz (1998) en *Phasianus colchicus* en un estudio realizado en el sur de Polonia, cuya alimentación consiste en hierbas, insectos, frutas, granos y pequeños roedores (Naturaleza, 2001; 2003). Sin embargo, los estudios realizados en este mismo tejido en Minsener Oldeog, Alemania por Lewis *et al.* (1993) en *L. argentatus* en hembras y machos, presentaron niveles de concentración promedio de Hg más altos que los encontrados en el presente trabajo en las aves acuáticas estudiadas (Tabla 17).

En *S. mollissima* de Greeland (Nielsen y Dietz, 1989), se encontraron niveles de concentración de este metal en el músculo similares a los de *A. affinis* y *A. americana* y *A. cyanoptera* en el músculo. En este mismo estudio con *Somateria spectabilis* se encontraron niveles de concentración más altos que cualquier otra especie de esta misma familia (Anatidae) estudiada en el presente trabajo.

Los niveles de Hg encontrados en la sangre de las aves acuáticas de la familia Anatidae de este estudio, resultaron en la mayoría más altos que los niveles de concentración encontrados en *Somateria mollissima borealis* en el este del Ártico

canadiense por Wayland et al. (2001) en los años 1997 y 1998. Sin embargo, estos resultaron considerablemente más bajos que los niveles reportados por Bearhop *et al.* (2000), en dos estudios realizados en el Noroeste del Atlántico con la especie *Catharacta skua* (de igual manera presentó niveles más altos que el cormorán oliváceo). Asimismo los niveles de las aves del presente estudio resultaron menores a los presentados por Burger y Gochfeld (1997) en un estudio realizado en Nueva York, con músculo de *L. pipixcan* y *L. argentatus* en el músculo (Ver Tabla 17).

Tabla 17. Niveles de concentración promedio (\pm desviación estándar) de mercurio en músculo y sangre de distintas aves acuáticas de diferentes localidades.

Espece	Tejido	Hg (ng/g)	Sitio	Referencia
<i>Larus argentatus</i> ^H	Músculo	2000 (\pm 750)	Minsener Oldeoog, Alemania	Lewis <i>et al.</i> (1993)
<i>Larus argentatus</i> ^M	Músculo	2560 (\pm 1170)	Minsener Oldeoog, Alemania	Lewis <i>et al.</i> (1993)
<i>P. brasilianus</i>	Músculo	1368 (\pm 659)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>A. clypeata</i>	Músculo	830 (\pm 557)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>A. discors</i>	Músculo	777 (\pm 584)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>Somateria mollissima</i>	Músculo	570 (\pm 300)	Greenland, 1984-1986	Nielsen and Dietz (1989)
<i>A. americana</i>	Músculo	579 \pm 567	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>A. affinis</i>	Músculo	577 \pm 467	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>Somateria spectabilis</i>	Músculo	2070 (\pm 1390)	Greenland, 1984-1986	Nielsen and Dietz (1989)
<i>A. cyanoptera</i>	Músculo	455 (\pm 705)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>A. crecca</i>	Músculo	319 \pm 247	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>Anas acuta</i>	Músculo	310	Noreste de Siberia	Kim et al, 1996
<i>A. acuta</i>	Músculo	669 (\pm 1236)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>Phasianus colchicus</i>	Músculo	26	Sur de Polonia	Swiergosz (1998)
<i>D. autumnalis</i>	Músculo	46 (\pm 33)	Costas de Sinaloa	Este estudio

Tabla 17. Continuación.

Especie	Tejido	Hg (ng/g)	Sitio	Referencia
<i>Somateria mollissima borealis</i>	Sangre	230 (\pm 10)	Este del ártico canadiense, 1997	Wayland <i>et al.</i> (2001)
<i>Somateria mollissima borealis</i>	Sangre	230 (\pm 20)	Este del ártico canadiense, 1998	Wayland <i>et al.</i> (2001)
<i>D. autumnalis</i>	Sangre	115 (\pm 49)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>A. cyanoptera</i>	Sangre	414 (\pm 325)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>A. crecca</i>	Sangre	493 (\pm 567)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>A. acuta</i>	Sangre	769 (\pm 1649)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>Catharacta skua</i>	Sangre	3670 (\pm 2030)	Noroeste del Atlántico, (Foula, Shetland)	Bearhop <i>et al.</i> (2000)
<i>Catharacta skua</i>	Sangre	7370 (\pm 3100)	Noroeste del Atlántico, (St. Kilda Archipiélago, Western Isles)	Bearhop <i>et al.</i> (2000)
<i>A. discors</i>	Sangre	1117 (\pm 592)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>A. clypeata</i>	Sangre	1145 (\pm 731)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>Larus pipixcan</i>	Sangre	5600 (\pm 800)	Long Island, New York	Burger & Gochfeld (1997)
<i>Larus argentatus</i>	Sangre	9300 (\pm 2100)	Long Island, New York	Bürger & Gochfeld (1997)
<i>A. affinis</i>	Sangre	1378 (\pm 1507)	Costas de Sinaloa	Este estudio
<i>P. brasilianus</i>	Sangre	2550 (\pm 1134)	Costas de Sinaloa	Este estudio

M, machos; H, hembras.

9. CONCLUSIONES

- (1) Se puede concluir de manera general que en la totalidad de las especies estudiadas (*A. clypeata*, *A. crecca*, *A. discors*, *A. acuta*, *A. cyanoptera*, *A. americana*, *A. affinis*, *D. autumnalis*, *P. brasiliensis*), se acumula mercurio en la totalidad de los tejidos estudiados; las plumas, el hígado, el músculo, la molleja, la sangre, vísceras y el corazón, ya que se logró detectar dicho metal, en las 1344 muestras obtenidas.

- (2) Los tejidos que presentaron las concentraciones más altas en las especies estudiadas fueron las plumas y el hígado en comparación con el resto de los tejidos analizados, aunque *P. brasiliensis* presentó niveles de concentración de mercurio altos además del hígado, en la sangre y después en las plumas. La sangre en cinco especies (*A. clypeata*, *A. crecca*, *A. discors*, *A. acuta*, *A. affinis*) presentó niveles de concentración elevados después de las plumas y el hígado. En el músculo en dos especies (*A. cyanoptera* y *A. americana*) presentó el nivel de concentración más alto después de las plumas y el hígado. En *D. autumnalis* pero con las concentraciones más bajas el tercer tejido que más acumuló mercurio después de las plumas y el hígado fue el corazón.

- (3) Los patos estudiados presentan mayores concentraciones de mercurio en el hígado que en plumas, debido probablemente a que están frecuentemente desechando el mercurio acumulado por medio de las dos mudas de plumaje que se presentan al año en estas aves. Por otra parte, y como bien se sabe el hígado es el órgano que funciona como depurador y regulador de los contaminantes, lo cual provoca una

mayor acumulación del Hg en este tejido comparado con los demás tejidos analizados.

(4) Respecto a las tendencias de acumulación del Hg en relación al sexo, se puede concluir que este no es determinante en la mayoría de los tejidos de las aves estudiadas. Aunque se encontraron excepciones en tres especies de aves, en las cuales, dos especies, *A. affinis* y *A. crecca* presentan mayor concentración de mercurio en las hembras que en los machos y de una manera contraria en *A. cyanoptera*.

(5) No se presentaron diferencias en los niveles de concentración del mercurio en la mayoría de las aves migratorias capturadas en relación a la zona de captura de las aves (Norte y Sur de Sinaloa), después de haber permanecido de manera temporal en las costas de Sinaloa. Debido a que no se puede tener la certeza de que estas aves residan permanentemente en estas zonas durante el invierno, ya que probablemente tienden a proseguir con su viaje hasta zonas más al sur del continente. Solamente en *A. discors* se encontró mayor concentración en las vísceras de las aves capturadas en la zona norte y en el resto de los tejidos se conservó esta misma tendencia, aunque con diferencias no significativas ($p < 0.05$).

(6) *A. crecca*, *A. acuta*, *A. americana*, *A. discors* y *A. cyanoptera* presentaron los niveles de concentración de Hg más altos en la mayoría de los tejidos en la época de partida en comparación con el arribo, lo cual evidencia un mayor grado de exposición al Hg en estas aves en las zonas donde residen temporalmente en invierno. Alternativamente, esto se puede atribuir a un efecto de dilución de Hg que podría

producir una ganancia de grasa previa al vuelo de migración a las costas de Sinaloa (donde podría no haber pérdida significativa, cuando estas aves vuelan hasta el centro y sur del continente) y al contrario, cuando estas aves realizan su vuelo de regreso al norte de América podrían concentrar más mercurio en sus distintos tejidos debido a un mayor desgaste energético por el vuelo que realizan desde el centro y el sur del continente.

(7) La correlación de la concentración de Hg entre los distintos tejidos de las especies de aves estudiadas en este trabajo, es diferente para cada especie. Cabe mencionar que el corazón presenta los valores de r más altos al correlacionarlo con el resto de los tejidos, en la mayoría de las especies. No obstante, entre otros, el propósito de este estudio era establecer las correlaciones entre las plumas y los órganos internos, (pretendiendo encontrar mayor correlación con el hígado), con la finalidad de evitar sacrificar aves en futuros estudios, utilizando exclusivamente plumas en la determinación de mercurio. Sin embargo, solo se encontraron correlaciones significativas entre los órganos internos y las plumas en *A. crecca* con el músculo, la molleja y las vísceras; *A. discors* con la mayoría de los tejidos excepto el hígado; *A. americana* con el músculo.

(8) En la sangre, otro tejido que podría ser utilizado en la determinación de Hg en correlación con los órganos internos, se tuvo que en la mayor parte de las correlaciones realizadas entre los distintos tejidos de las aves estudiadas, presentó correlaciones significativas con los órganos internos, por lo que puede resultar de utilidad en seis de las siguientes especies estudiadas: *A. clypeata*, *A. crecca*, *A. discors*, *A. acuta*, *A. cyanoptera* y *A. americana*.

- (9) La especie que más acumuló Hg de manera significativa en la mayor parte de los tejidos analizados con respecto al resto de las aves estudiadas es *P. brasilianus*. Esta especie se alimenta exclusivamente de anfibios y peces, lo cual no ocurre con el resto de las especies que tienen un tipo de alimentación a base de semillas, plantas, insectos, pequeños invertebrados marinos, etcétera, lo que coloca a esta especie en un eslabón superior en la cadena alimenticia.
- (10) Entre las Anatidae estudiadas la especie que más acumuló Hg fue el pato cucharón, probablemente, debido a la manera de obtener sus alimentos; el cual provoca cierta turbulencia del sedimento, provocando probablemente mayor disponibilidad del metal que se acumula en el sedimento del fondo. El pato buzo (*A. affinis*) es otra especie que presentó niveles altos después del *P. brasilianus*, lo que se puede atribuir también, a la manera de capturar su alimento, ya que se alimenta sumergiendo su cuerpo en la columna de agua (en profundidades hasta de 2.5 m), y probablemente se expone al metal acumulado en zonas cerca del fondo y a la capa bentónica.
- (11) *D. autumnalis* es la especie que menos concentró mercurio en sus tejidos, lo cual puede atribuirse a varias causas; (a) al tipo de alimentación predominantemente herbívora comparada con el resto, lo cual se observa en la molleja en el contenido estomacal por el tipo de alimento encontrado (Tabla 13), ya que se trata de un pato de superficie, es decir que se alimenta en la parte superficial del agua y (b) es una especie residente de la zona de estudio, que se ve expuesta exclusivamente a la contaminación de la región.

- (12) En general, al comparar los niveles de concentración de Hg de este estudio con los encontrados en otras partes del mundo en plumas, hígado, músculo y sangre, se concluye que las especies estudiadas se exponen a niveles de concentración de mercurio más bajos o similares a la mayoría de los estudios presentados, lo cual indica que el mercurio se encuentra en un grado similar o más bajo disponible para estas aves en el sitio de estudio.
- (13) Por otra parte, *A. cyanoptera* presentó niveles de concentración de Hg más altos en el presente estudio en la mayoría de los tejidos analizados, comparado con el estudio realizado en 1999 en la misma zona y la misma especie por Angulo-García (2002), lo cual evidencia una mayor acumulación del mercurio en esta ave con el tiempo, a consecuencia muy probable de una mayor exposición al Hg. Por otro lado, en la mayoría de los tejidos, *D. autumnalis* presentó concentraciones de Hg similares a las registradas por Angulo-García (2002) en la misma zona y la misma especie, con lo cual se puede concluir que el grado de exposición de estas aves es el mismo para 1999 y 2002 en las dos épocas en que fueron realizados estos dos estudios.
- (14) El Cormorán (*P. brasiliensis*), presentó niveles de concentración más bajos en la mayoría de los tejidos analizados en la misma zona en 1999, lo cual probablemente indica una disminución a la exposición de Hg en esta especie. Asimismo, esta ave presenta niveles de concentración más bajos en plumas e hígado que los encontrados en aves de su mismo género originarias del norte de América (reservas naturales y Lago Clear, EUA), asimismo, presentó niveles de Hg más bajos en hígado, en aves de su mismo género del Delta Po, Italia, y niveles ligeramente, más altos en plumas e hígado que los encontrados en aves de su mismo género en Japón

(Lago Biwa y Tokio). Con lo cual se puede concluir, que esta especie residente, se expone a niveles de concentración de mercurio más bajos en las costas de Sinaloa que los encontrados en el norte de América, debido muy probablemente a que en la zona norte del continente los niveles de concentración por Hg en los ambientes acuáticos son más altos que en Sinaloa, pero similares a los registrados en Japón.

(15) Con respecto a *A. acuta*, se puede concluir que esta especie, se expone a niveles de concentración mayores de Hg en las costas de Sinaloa que en Siberia, ya que presenta niveles de concentración más altos en las plumas, el hígado y el músculo en este estudio, en comparación a un estudio realizado en Siberia en 1996.

(16) Finalmente, cabe mencionar que este estudio forma parte de una base de datos, que permitirá conocer más sobre el grado de exposición al mercurio al que se ven sujetas estas aves y los distintos ambientes de donde fueron capturadas, así esta información permitirá evaluar el comportamiento de este metal en la costa de Sinaloa, en los próximos años, sin embargo puede resultar de suma importancia investigar los niveles de concentración de mercurio en el sedimento y la columna de agua, así como otros componentes de los distintos ecosistemas lagares de donde fueron capturadas estas aves, con la finalidad de evaluar la disponibilidad de este metal en estos ambientes.

9. LITERATURA CITADA

- Adams, W.J. and Prince, H.H. (1976).** Mercury levels in the tissues of ring-necked pheasants fed two mercurial fungicides. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 15 (3): 316-323.
- Angulo-García, X.C. (2002).** Niveles de concentración de mercurio en tejidos de cuatro especies de aves migratorias (*Recurvirostra americana*, *Dendrocygna autumnalis*, *Anas cyanoptera* y *Fulica americana*) recolectadas en el sistema lagunar Altata-Ensenada del Pabellon de Sinaloa. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico del Mar, Mazatlán, Sinaloa. 50 pp.
- Appelquist, H., Asbirk, S. and I. Drabaek. (1984).** Mercury monitoring: mercury stability in bird feathers. *Marine Pollution Bulletin*, 15(1): 22-24.
- Appelquist, H., Drabaer, I. and S. Asbirk (1985).** Variation in mercury content of Guillemot feathers over 150 years. *Marine Pollution Bulletin*, 16 (6): 244-248.
- Arriaga Cabrera, L., Vázquez Domínguez, j., González Cano, R., Jiménez Rosenberg, E., Muños López, V. y Aguilar Sierra (coordinadores). (1998).** Regiones marinas prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.
- Bartlett, M.S (1937).** Some examples of statistical methods of research in agriculture and applied biology. *Journal of the Royal Statistical Society* 4:137-170.
- Bakir F., Damluji S., Amin-Zakin L., Murtadha L., Khalidi A., Alrawi H., Tikriti S., Dhakhir H., Clarkson T., W., Smith T.W. and Doherty R. (1973).** Methyl mercury poisoning in Irak. *An Interuniversity Report Science* 181: 230-241.
- Becker, P.H. (1992).** Egg mercury levels decline with the laying sequence in Charadriiformes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 48: 762-767.

- Bellrose (1980), carta franca.** Patos, gansos y cisnes de Norteamérica. Libros De stackpole, Harrisburg, PA.
- Bidstrup, P.L. (1964).** Toxicity of mercury and its compounds. Elsevier, Amsterdam,p. 34.
- Bowerman, W.W., Evans, E. D., Giesy, J. P., and Postupalsky, S. (1994).** Using feathers to assess risk of mercury and selenium to Bald Eagle reproduction in the Great Lakes Region. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 27: 294-298.
- Braune, B.M. (1987a).** Comparison of total mercury levels in relation to diet and molt for nine species of marine birds. Archives of Enviromental Contamination and Toxicology, 16: 217-224.
- Braune, B. W., and Gaskin, D. E. (1987b).** Mercury levels in Bonaparte's Gull (*Larus Philadelphia*) during autumn molt in the Quoddy region, New Brunswick, Canada. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 16: 539-549.
- Bryan, G.W. (1979).** Bioaccumulation of marine pollutants. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B. 286:483505.
- Blomqvist, S., Frank, A. and Petersson L.R. (1987).** Metals in liver and Kidney tissue of autumn-migrating dunlin *Calidris alpina* and curlew sandpiper *Calidris ferruginea* staging at the Baltic sea. Marine Ecology Progress Series. 35:1-13.
- Bur, M.T., Tinnirello, S.L., Lovell, C.D. and Tyso. (2000).** Diet of the double crested cormorante in Western Lake Erie. Pp. 73-85. En: M.E: Tobin (Coord). Symposium on double-crested cormorantes: Populpation status and management issues in the Midwest.
- Butler, P. A., Andrén L.,Bonde G.J., Jernelov A. and Reish, D.J (1971).** Monitory organist. in: FAO Technical Conference on Marine Pollution and Its effects on living Resources and Fishing Rome (1970). Suppl.1: Report of the seminary on methods of detection,

Measurement and monitoring of pollutants in the marine environment. FAO Fisheries Report No. 99, Suppl. 1. pp. 101-112.

Burger, J. (1993). Metals in avian feathers: Bioindicators of environmental pollution. *Reviews in Environmental Toxicology*, 5: 203-311.

Burger, J., and Gochfeld, M. (1993). Heavy metal and selenium levels in feathers of young egrets and herons from Hong Kong and Szechuan, China. 25, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 25: 322-327.

Burger, J. & M. Gochfeld. (1997). Risk, mercury levels, and birds: relating adverse laboratory effects to field biomonitoring. *Environmental Research*, 75: 160-172.

Burger, J. (1997a). Heavy metals and selenium in herring gulls (*Larus argentatus*) nesting in colonies from eastern Long Island to Virginia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 48: 285-296.

Burger, J. (1997b). Ecological effects and biomonitoring for mercury in tropical ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 97: 265-272.

Burger, J. and M. Gochfeld. (1999). Interspecific and local differences in heavy metal levels in four species of birds near Sydney, Australia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 58: 105-119.

Burger J. and Gochfeld M. (2000). Metal levels in feathers of 12 species of seabirds from Midway Atoll in the northern Pacific Ocean. *The Science of the Total Environment*: 37-52.

Burger, J., Kennamer, R.A., Brisbin, I.L. and M. Gochfeld (1997). Metal levels in mourning doves from South Carolina: potential hazards to doves and hunters. *Environmental Research*, 75: 173-186.

Carbonell, M. y Garvin, J. (2002). Conozca sus patos. Publicado por Ducks Unlimited. Pp.

- Childs E.A. and Gaffke J.N. (1973).** Mercury content of Oregon ground fish. *Fishery Bulletin*, 71: 615-626.
- Debacker, V., Jauniaux, T., Coignoul, F. and J.M. Bouquegneau (2000).** Heavy metals contamination and body condition of wintering guillemots (*Uria aalge*) at the Belgian coast from 1993 to 1998. *Environmental Research*, 84: 310-317.
- Depledge, M.H. and Rainbow, P.S. (1990).** Models of regulation and accumulation of trace metal in marine invertebrates. *Comparative, Biochemistry and Physiology*, 78A: 375-380.
- De la Lanza, G., Cáceres-Martínez, C.** *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. México: Universidad Autónoma de Baja California Sur. 1994:127-165.
- De Liguoro, M., Amorena, M., Naso, B., Donato, A and A. Lucisano. (2002).** Levels of p,p'-DDE in liver of predatory birds from Calabria, Italy. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 68: 377-382.
- Dietz, R., Riget, F. and E.W. Born. (2000).** An assessment of selenium to mercury in Greenland marine animals. *The Science of the Total Environment*, 245: 15-24.
- Doi R. and Y. Fukuyama. (1983).** Metal content in feathers of wild and zoo-kept birds from Hokkaido, 1976-78. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 31:1-8.
- Ducks Unlimited de México A.C. (DUMAC), 2002.** <http://www.dumac.org>, info@dumac.org.
- Eisler, R. (1981).** Trace metal concentrations in marine organisms. Pergamon press. New York, USA. 687 pp.
- Eisler, R. (1987).** Mercury hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review. U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 85 (1.10). 90 pp.
- Elliott J.E., Scheuhammer A.M., Leighton F.A. and P.A. Pearce. (1992).** Heavy metal and metallothionein concentrations in Atlantic Canadian seabirds. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 22 (1): 63-73.

- Evans, D.W., Kathman, R.D. and W.W. Walker (2000).** Trophic accumulation and depuration of mercury by blue crabs (*Callinectes sapidus*) and pink shrimp (*Penaeus duorarum*). *Marine Environmental Research*, 49: 419-434.
- Evers, D.C., Kaplan, J.D., Meyer, M.W., Reaman, P.S., Braselton, W.E., Major, A., Burgess, N. and A.M. Scheuhammer (1998).** Geographic trend in mercury measured in common loon feathers and blood. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(2): 173-183.
- Fabczak, J., Szarek, J. and K. Markiewicz. (2000).** The level of cadmium, lead and mercury in the liver of cormorants. *Medycyna Weterynaryjna*, 56(11): 734-737.
- Faro L.R.F., Durán R., do Nascimento J.L.M., M. Alfonso, and Picanco- Diniz C.W. (1997).** Effects of Methyl Mercury on the in Vivo Release of Dopamine and its Acidic Metabolites DOPAC and HVA from Striatum of Rats. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 38, 95-98.
- Fitzgerald, W.F. and Mason R. P. (1996)** The global mercury cycle: oceanic and anthropogenic aspects. In: W. Baeyens, O. Vasiliev and R. Ebinghaus (eds). *Regional and Global Mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass Balances*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. Pp. 85-108.
- Furness R.W., Muirhead S.J. and Woodburn M. (1986).** Using bird feathers to measure mercury in the environment: relationships between mercury content and moult. *Marine Pollution Bulletin* 17 (1): 27-30.
- Furness, R.W. and Camphuysen, K.C.J. (1997).** Seabirds as monitors of the marine environment. *Journal of Marine Science* 54:726-737.
- Goede, A. A., and DeBruin, M. (1984).** The use of bird feather parts as a monitor for metal pollution. *Environmental Pollution B.* 8, 281-298.

- Gochfeld, M (1980).** Tissue distribution of mercury in normal and abnormal young common terns. *Marine Pollution Bulletin*, 11: 332-366.
- Gochfeld, M. and J. Burger (1998).** Temporal trends in metal levels in eggs of the endangered roseate tern (*Sterna dougalli*) in New York. *Environmental Research*, 77: 36-42.
- Goldberg, E.D. and Martin, J.H. (1983).** Metals in sea water as recorded by mussels. Trace metals in sea Water. NATO Conference Series, Plenum press, New York. 811-823 pp.
- Gooders, J., and Boyer, T. (1986).** Ducks of North America and the Northern Drogon's World, New York, N.Y.
- Goutner, V. and R.W. Furness (1997).** Mercury in feathers of Little Egret *Egretta garzetta* and Night Heron *Nycticorax* chicks and their prey in the Axios delta, Greece. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 32: 211-216.
- Green-Ruiz, C.R. (1996).** Geoquímica de sedimentos de la alguna costera subtropical Altata -Ensenada del Pabellón, Sinaloa, México. Tesis de maestría. Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Postgrado, Universidad nacional Autónoma de México, Mazatlán, Sinaloa, 183 pp.
- Green-Ruiz, C. and Páez-Osuna. F. (2001).** Heavy metal anomalies in lagoon sediments related to intensive agriculture in altata-Ensenada del Pabellón coastal system (SE Gulf of California) *Environmental Contamination and Toxicology*, 9: 321-328.
- Hammer, M.J. Mackichan, K.A. (1981).** Hydrology and quality of Water Resources. John Wiley & Sons. Inc.
- Hatch, W.R. and Ott, W.L. (1968).** Determination of sub-microgram quantities of mercury by atomic absorption spectrophotometry. *Analytical Chemistry*, 40: 2085-2087.
- Heinz, G. (1976).** Methyl mercury: second-year feeding effects on mallard reproduction and duckling behavior. *The Journal Wildlife Management*, 40: 82-90

- Heinz, G.H. and D.J. Hoffman (1998). Methylmercury chloride and selenomethionine interactions on health and reproduction in mallards. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(2): 139-145.
- Honda, K., Marcovecchio J. E., Kan, S., Tatsukawa, R., Ogi, H. (1990). Metal concentration in pelagic seabirds from the North Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 19:704-711.
- Honda, K., Nasu, T., and Tatsukawa, R. (1985). Seasonal change in mercury accumulations in the black-eared kite, *kilvus migrans lineatus*. *Environmental Pollution*, 42 (Series A): 325-334.
- Honda, k., Yoon-Min, B. and Tatsukawa. R. (1986). Heavy metal distribution in organs and tissues of the eastern great white egret *Egretta alba modesta*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 35: 781-789.
- Hui, C.A. (1998a). Elemental contaminants in the livers and ingesta of four subpopulations of the American coot (*Fulica americana*): an herbivorous winter migrant in San Francisco bay. *Environmental Pollution*, 101: 321-329.
- Hui, C.A. (1998) Metal and trace element burdens in two shorebird at two sympatric wintering sites in southern California. *Environmental Monitoring and Assessment* 50:233-247.
- Hui, C.A., Takenawa, J.Y., and Warnock, S.E. (2001). Contaminant profiles of two species of shorebirds forabirds together at two neighboring dities in South San Francisco Bay, California. *Environmental Monitoring and Assessment*, 71: 107-121.
- Hutton, M. (1981). Accumulation of heavy metals and selenium in three seabirds species from the United Kingdom. *Environmental Pollution* 26:129-145.
- IAEA (1987). Intercalibration of analytical methods on marine environmental samples. Trace element measurements on fish homogenate. Results of the Worldwide

Intercomparison Run MA-B-3/TM Report No. 36. International Atomic Energy Agency, Monaco.

Jernelov, A., and Ramel, C. (1995). Evaluation of the role and distribution of mercury in ecosystems with special emphasis on tropical regions. *Ambio* 24: 319-320.

Johnson, K. (1995). The Birds of North America No. 193. The American Ornithologists' Union.

Johnsgard, P. (1965). Handbook of Waterfowl Behavior. Cornell University.
<http://animaldiversity.ummz.umich.edu/accounts/anas>

Joiris, C.R., Tapia, G. and Holsbeek, L. (1997). Increase of Organochlorines and Mercury Levels in Common Guillemots *Uria aalge* during Winter in the Southern north sea. *Marine Pollution Bulletin* 34(12):1094-1057.

Keymer, I. F., Malcolm, H. M. A. and Horsley, D.T. (2001). Health evaluation of penguins (Sphenisciformes) following mortality in the Falklands (South Atlantic). *Diseases of Aquatic Organisms*, 45: 159-169.

Kim, E.Y., Goto, R., Tanabe, S., Tanaka, H. y Tatsukawa, R. (1994). Distribution of 14 Elements in Tissues and Organs of Oceanic Seabirds. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 35:638-645.

Kim, E.Y., Saeki, K., Tanabe, S., Tanaka H. and Tatsukawa, R. (1996a). Specific accumulation of mercury and selenium in seabirds. *Environmental Pollution*, 94: 261-265.

Kim, E.Y., Murakami, T., Saeki, K and Tatsukawa, R. (1996b). Mercury levels and its chemical form in tissues and organs of seabirds. *Environmental Pollution*, 94: 261-265.

Knapton, R.W. and K Pauls (1994). Fall food habits of American Wigeon at Long Pont, Lake Erie, Ontario, *Journal of Great Lakes Research*, 20: 271-276.

- Kudo A. and R.R. Turner, (1999).** Mercury contamination of Minamata Bay: Historical overview and progress towards recovery. Pp 143-158. En: R. Ebinghaus, R.R. Turner, L.D. de Lacerda, O. Vassiliev & W. Salomons, (eds). Mercury contaminated sites: characterization, risk assessment and remediation. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 548 pp.
- Lacerda, L.D., Paragueti, H. H. M., Marins, R. V., Rezende, C. E., Zalmon, I. R., Gomes, M. P. and Farias, V. (2000).** Mercury content in shark species from the South-Eastern Brazilian coast. *Revista Brasileira de Biologia*, 60(4): 572-576.
- Lankford, R.R. (1977).** Coastal lagoon of México: their origin and classification. 182-215 pp. En: Wiley, M., (ed). *Estuarine Processes*. Academic Press Inc., New York, U.S.A.
- Lebel, J., Roulet, M., Mergler, D., Lucitte, M., and Larribe, F. (1997).** Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population. *Water, Air and Soil Pollution*, 97:31-44.
- Lewis, S. A., Becker, P., and Furness, R. W. (1993).** Mercury levels in eggs, tissues and feathers of herring gulls *Larus argentatus* from the German Wadden sea coast. *Environmental Pollution* 80: 293-299.
- Lewis, S. A., and Furness, R. W. (1991).** Mercury accumulation and excretion by laboratory reared black-headed gull (*Larus ridibundus*) Chick. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 21: 316-320.
- Lewis, S.A. and Furness, R.W. (1993).** The role of eggs in mercury excretion by quail *Conturnix* and the implications for monitoring mercury pollution by analysis of feathers. *Ecotoxicology* 2:66-64.
- Libes, S.M. (1992).** An introduction to marine biogeochemistry. John Wiley & Sons, New York, U.S.A. 743 pp.

- Lindberg, P. (1984).** Mercury in feathers of Swedish gyrfalcons, *Falco rusticolus*, in relation to diet. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 32: 453-459.
- Loring, D.H. and Rantala, R.T.T. (1995).** Manual for geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Reference Methods for Marine Pollution Studies*, U.N.E.P., No. 63.
- Mackay, D. and Fraser, A. (2000).** Bioaccumulation of persistent organic chemicals: mechanisms and models. *Environmental Pollution*, 110:375-391.
- Mejía-Sarmiento, B. (2001).** La Acuicultura y las Aves. Capítulo 5. In: Páez-Osuna, F. *Camaronicultura y Medio Ambiente*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. 73-101.
- Mejía-Sarmiento, B. and Hendric, M.E. (1994).** Evaluación de la diversidad e Impacto potencial de la fauna avícola en los estanques de cultivo de camarones. Pp. 437-445. En: F. Páez-Osuna, M.E. Hendrick-Renens & R. Cortés-Altamirano (coord.). *Efecto de la calidad del agua y composición biológica sobre la producción en granjas camaronícolas*. Reporte técnico Interno, proyecto CONACYT 0625N9110, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y limnología, Estación Mazatlán, México, 445 pp.
- Monteiro, L.R., Granadeiro, J.P. Furness, R.W. and Oliveira, P. (1999).** Contemporary patterns of mercury contamination in the Portuguese Atlantic inferred from mercury concentrations in seabird tissues. *Marine Environmental Research*, 47:137-156.
- Moody, J.R. and Lindstrom, R.N. (1977).** Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element samples. *Analytical Chemistry*, 49: 2264-2267.
- Moore, C.J. (2000).** A review of mercury in the environment (Its occurrence in marine fish). Office of environmental Management. Marine Resources Division. South Carolina Department of Natural Resources. 22pp.

- Mora, M.A. and Anderson, D.W. (1995).** Selenium, boron, and heavy metals in birds from the Mexicali Valley, Baja California, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 54:198-206.
- Mowbray, T. (1999).** American Wigeon, No. 401. Pp. 1-32 in A poole and F Gill, ed., *The Birds of North America*. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, PA, and The American Ornithologists' Union, Washington, DC.
- Nebel, B.J. and Wright, R.T. (1999).** *Ciencias Ambientales. Ecología y Desarrollo Sostenible*. Ed. Prentice Hall. México. 720 pp.
- Neuman, J., Pearl, D.L., Ewins, P.J., Black, R., Weseloh, D.V., Pike, M. and Karwowski, K. (1997).** Spatial and temporal variation in the double-Crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*) breeding on the lower great Lakes in the early 1900s. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54: 1569-1584.
- Nigata Repor (1967).** Report on the cases of mercury poisoning in Niigata, Tokio, Ministerio de Salud y Bienestar, Japón.
- Nigro, M and Leonzio C. (1996).** Intracellular storage of Mercury and Selenium in different marine vertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 135:137-147.
- Ochoa-Acuña, H., Sepúlveda, M.S. and Groos, T. S. (2002).** Mercury in feathers from Chilean birds: Influence of location, feeding strategy, and taxonomic affiliation. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 340-349.
- Ohlendorf, H.M., Anderson, D.W., Boellstorff, D.E. and Mulhern, B.M. (1985).** Tissue distribution of trace elements and DDE in brown pelicans. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 35: 183-192.

- Ohlendorf, H. M., Risebrough, R.W. and Vermeer, K. (1978).** Exposure of marine birds to environmental pollutants. U.S. Department of the interior, Fish and Wildlife Service. Wildlife Research Report 9, Washington, D.C. 40 pp.
- Páez-Osuna, F. (1996a).** Fuentes de metales en la zona costera marina. In: Botello, A.V. Rojas-Galaviz, J.L., Benítez, J.A. y Zarate-Lomelí, D. (Eds) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica: 666pp.
- Páez-Osuna, F. (1996b).** Efectos de los metales, pp. 349-361. En: A.V. Botello, J. L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez, D. Zárate-Lomelí (Eds). Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnostico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica: 666 pp.
- Páez-Osuna, F. (1999).** Contaminación por metales en las costas de México. Ciencia y Desarrollo, XXV (149): 68-73.
- Páez-Osuna, F., Bojórquez-Leyva H. and Green-Ruiz, C. (1998a).** Total Carbohydrates: organic carbon in lagoon sediments as an indicator of organic effluents from agriculture and sugar-cane industry. Environmental Pollution 102: 321-326.
- Páez-Osuna, F y Frías-Espéricueta, M. (2001).** Bioacumulación, distribución y efectos de los metales pesados en los peneidos. 244-270 pp. En: F. Páez-Osuna (Editor) Camaronicultura y Medio Ambiente. UNAM y Colegio de Sinaloa. México, D.F.
- Peterson C.L., Klawe W.L. and Sharp, G.D. (1973).** Mercury in Tuna: a review. Fishery Bulletin, 71: 603-613.
- Peterson, R.T. y Chalif, E.L. (1989).** Aves de México. Guía del campo, identificación de todas las especies encontradas en México, Guatemala, Belice y El Salvador. Editorial Diana. Mexico. 743 pp.

- Phillips, D.J. H. (1980).** Quantitative Aquatic Biological Indicators. Their use to monitor trace metal and organochlorine pollution. Applied Science Publishers Ltd. London. 488 pp.
- Rainbow P.S. and Phillips D.J.H. (1993).** Cosmopolitan biomonitors of trace metals. Marine Pollution Bulletin, 26 (11): 593-601.
- Rainbow, P.S. (1993).** Biomonitoring of marine heavy metal pollution and its application in Hong Kong waters. The marine Biology of the South China sea. In: Morton, B (ed), Proceedings of the First International conference on the Marine Biology of Hong Kong and the South China Sea, Hong Kong. Hong Kong University Press.
- Rainbow, P.S. (1997).** Ecophysiology of trace metal up take in crustaceans. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 49: 169-175.
- Rendón-von Osten, J., Galán F.E. y Tejeda, C. (2001).** Survey of Lead in Feathers of Anatidaes from the Pabellon Inlet, Sinaloa, Mexico. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 67:276-281.
- Renzone A., Bacci, E. and Falcial, L. (1973).** Mercury concentrations in the water, sediments and fauna of an area of the Tyrrhenian Coast. In: 6th nt. Symp. Medic. Ocean, Portoroz, Yugoslavia, sept.26-30: 17-45.
- Rio-segade and Bendicho, C. (1999).** Selective Reduction Method for Separate Determination of Inorganic and Total Mercury in Mussel Tissue by Flow-Injection Cold Vapor Technique. Ecotoxicology and Environmental Safety, 42: 245-252.
- Ruelas-Inzuza, J.R. (2001).** Concentración y distribución de metales pesados en tejidos de organismos representativos de Bajo Golfo de California y áreas adyacentes: Fauna y flora. Tesis de Doctorado. Postgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Unidad Académica Mazatlán, Sinaloa, 211 pp.
- Ruelas-Inzunza, J. R., Horvat, M., Pérez-Cortés, H. and Páez-Osuna, F. (2003).** Mercury and Methylmercury concentrations in muscle, liver and kidney of gray whales

(*Eschrichtius robustus*) and spinner dolphins (*Stenella longirostris*) stranded along the lower Gulf of California, México. *Ciencias Marinas*, 29: 1-8.

Ruelas, J.R., Páez-Osuna, F., Pérez-Cortéz, H. (2002). Distribution of Mercury in Muscle, Liver and kidney of the Spinner Dolphin (*Stenella longirostris*) stranded in the Southern Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin* 40:1063-1066.

Saeki K., Okabe Y., Kim E.Y., Tanabe S., Fukuda, M. and Tatsukawa, R. (2000) Mercury and cadmium in common cormorants (*Phalacrocorax carbo*). *Environmental Pollution*. 108:249-255.

Scheuhammer, A.M., Atchison, C.M., Wong, A.H.K. and Evers, D.C. (1998a). Mercury exposure in breeding common loons (*Gavia immer*) and common mergansers (*Mergus merganser*) from Eastern Canada. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(2): 197-201.

Sepulveda, M.S., Poppenga, R.H., arrecis, J.J. and Quinn, L.B. (1998). Concentrations of mercury and selenium in tissues of double-crested cormorants (*Phalacrocorax auritus*) from southern Florida. *Colonial Waterbirds*, 21: 35-42.

Simkiss K. y Mason A. Z. (1983). Metal ions: metabolic and toxic effect. In: Wilbur K M (ed.) the mollusca, *Environmental Biochemistry and Physiology*. Vol. 2. Academic Press. USA. pp. 101-164.

Spalding, M.G., Frederick, P.C., McGill, H., Bouton, S.N., Richey, L.J., Schumacher, I.M., Blackmore, C.G.M. and Harrison. J. (2000b). Histologic, neurologic, and immunologic effects of Methylmercury in captive great egrets. *Journal of Wildlife Diseases*, 36(3): 423-435.

Storelli, M.M., Ceci, E. and Marcotrigiano, G.O. (1998). Comparison of total mercury, Methylmercury, and selenium in muscle tissues and in the liver of *Stenella coerulealba*

(Meyen) and Caretta (Linnaeus). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 61: 541-547.

Stower, L., Kalas, J., Mankovska, B. and Steinnes, E. (1998). Mercury exposure to passerine birds in areas close to local emission source in Slovakia and Norway. The Science of the Total Environment, 213:291-298.

Swiergosz, R. (1998). Mercury accumulation in the muscles and livers of pheasants, *Phasianus colchicus* (L.1758). Biometals 2:139-143.

Sydeman, W.J. and Jarman, W.M. (1998). Trace metals in seabirds, steller sea lion, and forage fish and zooplankton from central California. Marine Pollution Bulletin, 36(19): 828-832.

Szefer P. and Falandysz, J. (1987). Trace metals in the soft tissues of scaup ducks (*Aythya marila* L.) wintering in Gdansk bay, Baltic Sea. The Science of Total Environment, 65:203-213.

Takizawa, Y. (1997). Minamata disease and evaluation of medical risk from methyl mercury: Akita Journal of Medicine, 5: 183-213.

Thompson, D. R., and Furness, R. W., (1989). Comparison of the Levels of total and organic mercury in seabird feathers. Ma. pollut. Bull 20, 577-579.

Thompson, D.R. (1990). Metal levels in marine vertebrates. 143-182 pp. En: Furness, R.W. & P.S. Rainbow. Heavy metals in the marine environment. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 256 pp.

Thompson, D.R. (1996). Mercury in birds and terrestrial mammals. En: Nelson-Beyer, W., Heinz, G.H. and A.W. Redmon-Norwood. Environmental contaminants in wildlife: Interpreting tissue concentrations. SETAC Special Publications series. CRC Lewis publishers, New York, USA. pp. 341-356.

- Thompson, D.R. and Dowding, J.E. (1999).** Site- Specific Heavy Metal concentrations in blood of South Island Pied Oystercatchers *Haematopus ostralegus finschi* from the Auckland region,, New Zealand. *Marine Pollution Bulletin*, 60:305-317.
- Thompson, D.R. and Dowding, J.E. (1999).** Site-specific heavy metal concentrations in blood of south island pied oystercatchers *Haematopus ostralegus finschi* from the Auckland region, New Zealand. *Marine Pollution Bulletin*, 38(3): 202-206.
- Thompson, D.R., Hamer, K. C., and Furness, R. W. (1991).** Mercury accumulation in great skuas *Catharacta skua* of Known age and sex and its effects upon breeding and survival. *Journal of Applied Ecology*, 28: 672-684.
- Thompson D. R., Furness R. W. and Monteiro L.R. (1998).** Seabird as biomonitors of mercury inputs to epipelagic and mesopelagic marine food chains. *The Science of the Total Environment*, 25: 299-305.
- Vanderah, G.C. (1985).** Cinamon Teal-*Anas cyanoptera* (On-line), Available <http://www.inhs.uiuc.edu/chf/pub/ifwis/birdes/cinnamon-teal.html>
- Van-Stralen N.M. and Ernst E. (1991)** Metal biomagnification may endanger species in critical pathways. *Oikos*, 62 (2): 255-256.
- Velazco-González, O.H., Echevarría-Almeida, S., Pérez-López, M.E. y Villanueva-Fierro, I. (2001).** Contenido de Mercurio y Arsénico en Atún y sardinas enlatadas mexicanas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 17:31-35.
- Walsh, P.M. (1990).** The use of birds as monitors of heavy metals in the marine environment. In "Heavy Metals in the Marine Environment" (R.W. Furness and P.S. Rainbow, Eds), pp. 183-204. CRC Press, Boca Raton, F.L.
- Wayland, M., García-Fernandez, A.J., Neugebauer, E. and Gilchrist, H.G. (2001).** Concentrations of cadmium, Mercury and Selenium in blood, liver and kidney of

common eider ducks from the Canadian Arctic. *Environmental Monitoring and Assessment* 71:255-267.

Wickliffe, J.K. and Bickham, J. W. (1998). Flow cytometric analysis of hematocytes from pelicans (*Pelecanus occidentalis*) exposed to planar halogenated hydrocarbons and heavy metals. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 61: 239-246.

Wolfe, M. and Norman, D. (1998). Effects of waterborne mercury on terrestrial wildlife at Clear Lake: Evaluation and testing of a predictive model. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(2): 214-227.

Wolfe, M.F., Schwarzbach, S. and Sulaiman, R.A. (1998). Effects of mercury on wildlife: a comprehensive review. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17(2): 146-160.

World Health Organization (WHO) International Programme for Chemical Safety (ICPS) (1990). Environmental Health Criteria 101: Methylmercury, WHO, Geneva.

Young, L. (1998). The importance to ardeids of the Deep Bay Fish ponds, Hong Kong. *Biological Conservation*, 84 (3): 293-300.

Zar, J.H. (1984), Biostatistical analysis. 2nd edition. Prentice Hall. New Jersey, USA, 718 pp.

11. ANEXO 1

Tabla 1. Concentración promedio de Hg en las distintas aves capturadas y comparaciones estadísticas entre los distintos tejidos estudiados, independientemente del sitio de captura y de la época del año.

Especie	NC	Tejido	n	Promedio \pm desviación estándar (ng de Hg/g)	Comparación de la concentración de Hg entre tejidos					
					plumas	hígado	músculo	molleja	sangre	vísceras
<i>Anas clypeata</i>	1	Plumas	50	2120 \pm 1164						
	1	Hígado	42	2885 \pm 1846	-					
	3	Músculo	48	830 \pm 557	*	*				
	4	Molleja	49	621 \pm 400	*	*	*			
	2	Sangre	46	1145 \pm 731	*	*	*	*		
	4	Vísceras	51	585 \pm 329	*	*	*	-	*	
	2,3	Corazón	44	948 \pm 777	*	*	-	*	-	*
<i>Anas crecca</i>	1	Plumas	40	930 \pm 659						
	1	Hígado	38	1172 \pm 1042	-					
	3	Músculo	38	319 \pm 247	*	*				
	2,3	Molleja	42	362 \pm 318	*	*	-			
	2	Sangre	38	526 \pm 417	*	*	*	-		
	2,3	Vísceras	41	371 \pm 317	*	*	-	-	-	
	2,3	Corazón	38	463 \pm 448	*	*	-	-	-	-
<i>Anas discors</i>	2	Plumas	36	1707 \pm 1002						
	1	Hígado	30	2127 \pm 857	*					
	4	Músculo	35	777 \pm 584	*	*				
	4	Molleja	35	665 \pm 447	*	*	-			
	3	Sangre	34	1117 \pm 592	*	*	*	*		
	4	Vísceras	36	590 \pm 429	*	*	-	-	*	
	4	Corazón	25	622 \pm 307	*	*	-	-	*	-

Tabla 1. Continuación.

Especie	N C	Tejido	n	Promedio \pm desviación estándar (ng de Hg/g)		Comparación de la concentración de Hg entre tejidos					
						plumas	hígado	músculo	molleja	sangre	vísceras
<i>Anas acuta</i>	1	Plumas	26	970	\pm 890						
	1	Hígado	25	1756	\pm 3305	-					
	2	Músculo	26	669	\pm 1236	*	*				
	2,3	Molleja	26	432	\pm 759	*	*	-			
	2	Sangre	21	769	\pm 1649	*	*	-	-		
	3	Vísceras	26	316	\pm 582	*	*	*	-	*	
	2	Corazón	23	492	\pm 1037	*	*	-	-	-	*
<i>Anas cyanoptera</i>	1	Plumas	19	1452	\pm 942						
	1	Hígado	19	1203	\pm 1420	-					
	2	Músculo	17	455	\pm 705	*	*				
	2	Molleja	18	362	\pm 523	*	*	-			
	2	Sangre	18	414	\pm 325	*	*	-	-		
	2	Vísceras	18	353	\pm 543	*	*	-	-	-	
	2	Corazón	15	325	\pm 557	*	*	-	-	-	-
<i>Anas americana</i>	1,2	Plumas	12	637	\pm 603						
	1	Hígado	13	1229	\pm 1430	-					
	1,2	Músculo	14	579	\pm 567	-	-				
	1,2	Molleja	12	538	\pm 470	-	-	-			
	2	Sangre	12	493	\pm 567	-	*	-	-		
	1,2	Vísceras	15	456	\pm 480	-	-	-	-	-	
	2	Corazón	13	373	\pm 507	-	*	-	-	-	-

Tabla 1. Continuación.

Especie	N C	Tejido	n	Promedio \pm desviación estándar (ng de Hg/g)			Comparación de la concentración de Hg entre tejidos ^a						
							plumas	hígado	músculo	molleja	sangre	vísceras	
<i>Aythya affinis</i>	1,2	Plumas	7	1378	\pm	384							
	1	Hígado	7	2472	\pm	1949	-						
	2	Músculo	7	577	\pm	467	-	*					
	2	Molleja	8	493	\pm	455	-	*	-				
	1,2	Sangre	8	1378	\pm	1507	-	-	-	-			
	2	Vísceras	8	602	\pm	660	-	*	-	-	-		
	2	Corazón	5	1102	\pm	981	-	*	-	-	-	-	
<i>Dendrocygna autumnalis</i>	1	Plumas	6	289	\pm	264							
	1,2	Hígado	5	235	\pm	215	-						
	2	Músculo	6	46	\pm	33	*	-					
	2	Molleja	6	78	\pm	30	*	-	-				
	1,2	Sangre	3	115	\pm	49	-	-	-	-			
	2	Vísceras	6	70	\pm	28	*	-	-	-	-		
	1,2	Corazón	6	129	\pm	63	-	-	-	-	-	-	
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	1,2	Plumas	5	2422	\pm	1316							
	1	Hígado	5	4052	\pm	2135	-						
	2	Músculo	4	1368	\pm	659	-	*					
	2	Molleja	5	1561	\pm	588	-	*	-				
	1,2	Sangre	4	2550	\pm	1134	-	-	-	-			
	2	Vísceras	4	1041	\pm	175	-	*	-	-	-		
	2	Corazón	5	1702	\pm	611	-	*	-	-	-	-	

^a, Análisis estadístico ANOVA de un vía; NC, Indica el nivel de concentración donde los números del mismo valor corresponden a tejidos que no presentan diferencias significativas entre sí; *, Presenta diferencias significativas con el tejido indicado; -, No presenta diferencias significativas.

Tabla 2 – Concentración de Hg promedio (\pm desviación estándar, mínimo y máximo) en los distintos tejidos de las especies estudiadas según el sexo.

Especie Tejido – sexo	Datos estadísticos				
	n	Promedio \pm DE (ng/g)	Mínimo	Máximo	
Plumas	H	28	1871 \pm 790	422	3916
	M	22	2437 \pm 1473	579	5441
Hígado	H	22	2530 \pm 1514	478	6267
	M	20	3277 \pm 2124	1021	10727
Músculo	H	26	807 \pm 408	77	1866
	M	22	856 \pm 703	168	3658
Molleja	H	28	626 \pm 454	33	2414
	M	21	615 \pm 324	89	1657
Sangre	H	26	1078 \pm 684	177	3744
	M	20	1232 \pm 798	6	3926
Visceras	H	28	599 \pm 305	104	1133
	M	26	849 \pm 408	276	1735
Corazón	H	23	569 \pm 363	80	1576
	M	18	1091 \pm 1116	254	4852
A. crecca					
Plumas	H	19	924 \pm 586	128	2899
	M	21	936 \pm 733	198	2858
Hígado	H	18	1235 \pm 721	179	2862
	M	20	1114 \pm 1282	80	5834
Músculo	H*	19	400 \pm 247	4	800
	M	19	238 \pm 225	8	756
Molleja	H*	21	411 \pm 300	95	1231
	M	21	314 \pm 334	22	1421
Sangre	H*	18	651 \pm 473	52	2070
	M	20	414 \pm 334	52	1271
Visceras	H	21	429 \pm 318	26	1130
	M	20	309 \pm 312	41	1050
Corazón	H	17	555 \pm 450	28	1596
	M	21	389 \pm 443	56	2147

Tabla 2. Continuación.

<i>A. discors</i>		n	Promedio \pm DE (ng/g)		Mínimo	Máximo
Plumas	H	17	1689	\pm 1192	198	4810
	M	19	1723	\pm 831	699	3584
Hígado	H	14	2415	\pm 987	862	4710
	M	16	1875	\pm 656	624	3165
Músculo	H	17	923	\pm 669	31	2488
	M	18	640	\pm 468	6	1888
Molleja	H	16	720	\pm 440	100	2078
	M	19	621	\pm 460	112	2121
Sangre	H	16	1178	\pm 705	59	3058
	M	18	1062	\pm 484	179	2085
Vísceras	H	17	665	\pm 523	5	2192
	M	19	524	\pm 325	5	1119
Corazón	H	11	629	\pm 379	189	1555
	M	14	617	\pm 253	110	1046
<hr/>						
<i>A. acuta</i>						
Plumas	H	8	1298	\pm 1205	373	4035
	M	18	824	\pm 703	43	2722
Hígado	H	8	687	\pm 415	199	1218
	M	17	2259	\pm 3934	76	15253
Músculo	H	8	146	\pm 179	28	564
	M	18	902	\pm 1430	18	6014
Molleja	H	8	175	\pm 197	32	632
	M	18	546	\pm 887	43	3308
Sangre	H	6	553	\pm 549	30	1417
	M	15	855	\pm 1936	41	7470
Vísceras	H	8	104	\pm 88	16	228
	M	18	411	\pm 681	5	2347
Corazón	H	7	181	\pm 114	65	326
	M	16	628	\pm 1227	28	4953

Tabla 2. Continuación.

<i>A. cyanoptera</i>		n	Promedio \pm DE (ng/g)		Mínimo	Máximo
Plumas	H	6	1231	\pm 768	376	2427
	M	13	1553	\pm 1025	272	4291
Hígado	H	6	1057	\pm 540	203	1549
	M	13	1270	\pm 1699	110	6614
Músculo	H	5	312	\pm 220	41	564
	M	12	514	\pm 832	51	3005
Molleja	H	5	302	\pm 233	57	653
	M	13	386	\pm 606	97	2336
Sangre	H	6	457	\pm 357	151	947
	M	12	393	\pm 322	52	1079
Vísceras	H	6	254	\pm 253	52	720
	M	12	403	\pm 647	42	2341
Corazón	H	5	288	\pm 214	103	625
	M*	10	344	\pm 679	25	2268
<i>A. americana</i>						
Plumas	H	8	805	\pm 673	227	1870
	M	4	299	\pm 220	131	594
Hígado	H	9	1270	\pm 1502	145	4217
	M	4	1137	\pm 1464	130	3295
Músculo	H	9	663	\pm 538	48	1487
	M	5	429	\pm 651	52	1583
Molleja	H	9	526	\pm 364	84	1100
	M	3	574	\pm 825	91	1526
Sangre	H	8	498	\pm 523	10	1561
	M	4	482	\pm 737	11	1578
Vísceras	H	10	510	\pm 418	50	1107
	M	5	349	\pm 625	25	1465
Corazón	H	9	306	\pm 332	10	1016
	M	4	524	\pm 831	68	1770

Tabla 2. Continuación.

<i>A. affinis</i>		n	Promedio \pm DE (ng/g)		Mínimo	Máximo
Plumas	H	3	1425	\pm 616	755	1967
	M	4	1343	\pm 194	1139	1607
Hígado	H	4	2872	\pm 2237	1347	6122
	M	3	1939	\pm 1775	662	3966
Músculo	H*	4	866	\pm 420	390	1412
	M	3	192	\pm 34	167	231
Molleja	H	4	713	\pm 563	256	1519
	M	4	272	\pm 191	62	449
Sangre	H	4	1228	\pm 594	687	2017
	M	4	1528	\pm 2210	239	4822
Visceras	H	4	870	\pm 873	211	2139
	M	4	335	\pm 252	101	632
Corazón	H	3	1338	\pm 1219	394	2715
	M	2	747	\pm 677	268	1226

H hembra; M macho; * Diferencias significativa con el sexo opuesto a una $p < 0.05$, D E Desviación estándar.

Tabla 3. Concentración promedio (\pm D E, mínimo y máximo) de mercurio según la zona de captura Norte (N) y Sur (S) de las costas de Sinaloa, en tejidos de las distintas especies de aves acuáticas.

Especie tejido		Concentración de Hg (ng/g)					
<i>A. clypeata</i>	zona	<i>n</i>	Promedio \pm D E		Mínimo	Máximo	
Plumas	N	13	2038	\pm 1186	579	4785	
	S	12	1968	\pm 1296	422	4720	
Hígado	N	9	2361	\pm 848	1274	4014	
	S	12	2781	\pm 1434	478	4915	
Músculo	N	12	681	\pm 377	77	1445	
	S	12	822	\pm 232	468	1094	
Molleja	N	14	572	\pm 263	89	1070	
	S	12	726	\pm 560	217	2414	
Sangre	N	12	1048	\pm 438	177	1683	
	S	9	1201	\pm 323	676	1812	
Visceras	N	14	586	\pm 246	165	1006	
	S	12	655	\pm 242	247	1041	
Corazón	N	11	815	\pm 314	292	1474	
	S	9	1283	\pm 1373	379	4852	
<i>A. crecca</i>							
Plumas	N	8	1285	\pm 745	321	2899	
	S	11	885	\pm 570	258	2431	
Hígado	N	7	2083	\pm 1790	584	5834	
	S	13	1409	\pm 724	253	2862	
Músculo	N	6	524	\pm 222	100	756	
	S	10	533	\pm 215	200	800	
Molleja	N	8	578	\pm 366	183	1421	
	S	13	571	\pm 311	161	1231	
Sangre	N	6	831	\pm 125	668	1029	
	S	11	854	\pm 502	291	2070	
Visceras	N	8	650	\pm 311	165	1050	
	S	13	574	\pm 267	163	1130	
Corazón	N	6	836	\pm 668	289	2147	
	S	10	732	\pm 475	76	1596	

Tabla 3. Continuación.

<i>A. discors</i>	zona	n	Promedio \pm D E		Mínimo	Máximo
Plumas	N	16	2060	\pm 1160	815	4810
	S	14	1570	\pm 731	811	3337
Hígado	N	12	2396	\pm 881	1360	4710
	S	13	2187	\pm 771	828	3295
Músculo	N	16	1034	\pm 677	158	2488
	S	13	735	\pm 340	168	1415
Molleja	N	16	879	\pm 515	420	2121
	S	14	588	\pm 259	325	1297
Sangre	N	15	1431	\pm 473	988	3058
	S	13	1159	\pm 424	287	2085
Visceras	N*	16	883	\pm 424	442	2192
	S*	14	465	\pm 223	188	987
Corazón	N	10	815	\pm 301	585	1555
	S	9	620	\pm 210	270	917
<i>A. acuta</i>						
Plumas	N	5	1077	\pm 1015	55	2722
	S	1	219	\pm -	219	219
Hígado	N	5	5503	\pm 6227	565	15253
	S	-	-	\pm -	-	-
Músculo	N	5	1933	\pm 2442	154	6014
	S	1	733	\pm 733	733	733
Molleja	N	5	1274	\pm 1427	139	3308
	S	1	541	\pm -	541	541
Sangre	N	3	3019	\pm 3892	252	7470
	S	1	314	\pm 314	314	314
Visceras	N	5	953	\pm 1076	101	2347
	S	1	590	\pm -	590	590
Corazón	N	3	1955	\pm 2605	253	4953
	S	1	74	\pm -	74	74
<i>A. cyanoptera</i>						
Plumas	N	4	1746	\pm 505	1353	2427
	S	1	527	\pm -	527	527
Hígado	N	4	1500	\pm 42	1450	1549
	S	1	2043	\pm -	2043	2043
Músculo	N	2	670	\pm 234	505	835
	S	1	889	\pm -	889	889
Molleja	N	4	386	\pm 124	306	568
	S	1	520	\pm -	520	520
Sangre	N	4	675	\pm 291	280	906
	S	1	1079	\pm -	1079	1079
Visceras	N	4	422	\pm 273	176	813
	S	1	404	\pm -	404	404
Corazón	N	1	339	\pm -	339	339
	S	-	-	\pm -	-	-

Tabla 3. Continuación.

<i>A. americana</i>	zona	n	Promedio	±	D E	Mínimo	Máximo
Plumas	N	5	379	±	131	594	178
	S	3	1587	±	1256	1870	310
Hígado	N	6	899	±	130	3295	1193
	S	4	2469	±	837	4217	1596
Músculo	N	7	607	±	52	1583	526
	S	3	1158	±	544	1487	533
Molleja	N	4	687	±	104	1526	617
	S	4	799	±	547	1100	281
Sangre	N	5	515	±	11	1578	630
	S	3	1005	±	663	1561	485
Visceras	N	7	427	±	25	1465	560
	S	4	850	±	543	1107	274
Corazón	N	6	585	±	68	1770	678
	S	3	344	±	10	534	290

* Presenta diferencia significativa en un mismo tejido según la zona de captura; D E, Desviación estándar.

Tabla 4. Niveles de concentración (en ng de Hg/g), según la época de captura. A., arribo y P., partida de las aves migratorias. Δ , Promedio arribo – promedio partida.

Tejidos por especie	n	Prom. (\pm Dev. Est.) en ng/g			Min	Max	Δ
A. clypeata							
A. Plumas	25	2235	\pm	1124	838	5441	231
P. Plumas	25	2004	\pm	1214	422	4785	
A. Hígado	21	3170	\pm	2313	562	10727	569
P. Hígado	21	2601	\pm	1210	478	4915	
A. Músculo	24	908	\pm	722	239	3658	156
P. Músculo	24	752	\pm	315	77	1445	
A. Molleja	23	597	\pm	377	33	1657	-46
P. Molleja	26	643	\pm	424	89	2414	
A. Sangre	25	1172	\pm	935	6	3926	58
P. Sangre	21	1114	\pm	392	177	1812	
A. Visceras	25	551	\pm	403	80	1576	-67
P. Visceras	26	618	\pm	242	165	1041	
A. Corazón	24	883	\pm	611	254	2862	-143
P. Corazón	20	1026	\pm	950	292	4852	
A. crecca							
A. Plumas	21	819	\pm	652	128	2858	-235
P. Plumas	19	1054	\pm	661	258	2899	
A. Hígado*	18	646	\pm	430	80	1638	-999
P. Hígado*	20	1645	\pm	1205	253	5834	
A. Músculo*	22	166	\pm	132	4	484	-364
P. Músculo*	16	530	\pm	210	100	800	
A. Molleja*	21	151	\pm	89	22	383	-423
P. Molleja*	21	574	\pm	324	161	1421	
A. Sangre*	21	267	\pm	186	52	648	-579
P. Sangre*	17	846	\pm	403	291	2070	
A. Visceras*	20	127	\pm	89	26	333	-476
P. Visceras*	21	603	\pm	279	163	1130	
A. Corazón*	22	239	\pm	154	28	651	-532
P. Corazón*	16	771	\pm	535	76	2147	
A. discors							
A. Plumas*	6	1085	\pm	831	198	2611	-746
P. Plumas*	30	1831	\pm	999	811	4810	
A. Hígado	5	1326	\pm	611	624	2184	-961
P. Hígado	25	2287	\pm	815	828	4710	
A. Músculo*	6	184	\pm	166	6	455	-716
P. Músculo*	29	900	\pm	564	158	2488	
A. Molleja*	5	204	\pm	132	100	409	-539
P. Molleja*	30	743	\pm	435	325	2121	
A. Sangre*	6	242	\pm	177	59	572	-1062
P. Sangre*	28	1304	\pm	464	287	3058	
A. Visceras*	6	102	\pm	131	5	332	-586
P. Visceras*	30	688	\pm	400	188	2192	
A. Corazón*	6	305	\pm	160	110	557	-417
P. Corazón*	19	722	\pm	274	270	1555	

Tabla 4. Continuación.

A. acuta	n	Prom. (\pmDev. Est.) en ng/g		Min	Max	Δ
A. Plumas	20	981	\pm 891	43	4035	47
P. Plumas	6	934	\pm 973	55	2722	
A. Hígado*	20	819	\pm 1010	76	3700	-4684
P. Hígado*	5	5503	\pm 6227	565	15253	
A. Músculo*	20	350	\pm 476	18	1682	-1383
P. Músculo*	6	1733	\pm 2238	154	6014	
A. Molleja*	20	216	\pm 306	32	1227	-936
P. Molleja*	6	1152	\pm 1311	139	3308	
A. Sangre*	17	398	\pm 630	30	2343	-1945
P. Sangre*	4	2343	\pm 3454	252	7470	
A. Visceras*	20	144	\pm 245	5	1053	-748
P. Visceras*	6	892	\pm 974	101	2347	
A. Corazón*	19	271	\pm 387	28	1494	-1269
P. Corazón*	4	1540	\pm 2283	253	4953	
A. cyanoptera						
A. Plumas	14	1434	\pm 1038	272	4291	-68
P. Plumas	5	1502	\pm 699	527	2427	
A. Hígado	14	1058	\pm 1639	110	6614	-551
P. Hígado	5	1609	\pm 246	1450	1488	
A. Músculo*	14	393	\pm 763	41	3005	-350
P. Músculo*	3	743	\pm 208	505	505	
A. Molleja	13	343	\pm 617	57	2336	-70
P. Molleja	5	413	\pm 123	306	307	
A. Sangre	13	283	\pm 224	52	1079	-472
P. Sangre	5	755	\pm 310	280	632	
A. Visceras	13	328	\pm 630	42	2341	-90
P. Visceras	5	418	\pm 237	176	352	
A. Corazón	14	325	\pm 578	25	2268	-14
P. Corazón	1	339	\pm	339	339	
A. americana						
A. Plumas	4	246	\pm 87	132	332	-586
P. Plumas	8	832	\pm 661	131	1870	
A. Hígado	3	235	\pm 81	145	302	-1292
P. Hígado	10	1527	\pm 1516	130	4217	
A. Músculo	4	95	\pm 53	48	166	-677
P. Músculo	10	772	\pm 564	52	1583	
A. Molleja	4	127	\pm 55	84	204	-616
P. Molleja	8	743	\pm 448	104	1526	
A. Sangre	4	80	\pm 64	10	160	-619
P. Sangre	8	699	\pm 599	11	1578	
A. Visceras	4	115	\pm 80	50	230	-465
P. Visceras	11	580	\pm 507	25	1465	
A. Corazón	4	78	\pm 26	52	104	-427
P. Corazón	9	505	\pm 568	10	1770	

Tabla 4. Continuación.

A. affinis	n	Prom. (\pmDev. Est.) en ng/g		Min	Max	Δ
A. Plumas	5	1439	\pm 448	755	1967	213
P. Plumas	2	1226	\pm 123	1139	1313	
A. Hígado	5	2104	\pm 1175	1191	3966	-1288
P. Hígado	2	3392	\pm 3861	662	6122	
A. Músculo	4	558	\pm 328	178	855	-45
P. Músculo	3	603	\pm 701	167	1412	
A. Molleja	5	389	\pm 196	160	671	-277
P. Molleja	3	666	\pm 759	62	1519	
A. Sangre	5	1591	\pm 1849	239	4822	568
P. Sangre	3	1023	\pm 899	267	2017	
A. Vísceras	5	425	\pm 252	152	727	-473
P. Vísceras	3	898	\pm 1090	101	2139	
A. Corazón	2	650	\pm 362	394	906	-753
P. Corazón	3	1403	\pm 1233	268	2715	

*, Indica diferencia significativa entre las dos épocas de captura; Min, Concentración mínima de Hg encontrada; Máx, Concentración máxima de Hg encontrada.