



03065 2  
29.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Colegio de Ciencias y Humanidades  
Unidad Académica de los Ciclos  
Profesional y de Posgrado

"Balanos (Balanus eburneus, Fistulobalanus dentivarians y Megabalanus coccopoma) como Biomonitores de la Contaminación por Metales Pesados en las Aguas del Puerto de Mazatlán, Sinaloa."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR

(OCEANOGRAFIA QUIMICA)

P R E S E N T A :

**JORGE RICARDO RUELAS INZUNZA**

ASESOR: DR. FEDERICO PAEZ OSUNA

MAZATLAN, SINALOA

250006  
1998

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Este trabajo se realizó bajo la dirección del Dr. Federico Páez Osuna en el laboratorio de Geoquímica y Contaminación Costera, de la Estación Mazatlán del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM; con el apoyo financiero parcial del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del proyecto 0185P-T9506 "Biomonitoreo de la contaminación en las aguas costeras del Pacífico subtropical Mexicano: metales pesados, plaguicidas e hidrocarburos del petróleo".

**A Mónica, Jorge Andrés  
y Natalia con todo mi cariño.**

**A la memoria de mi madre.**

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi especial agradecimiento a las siguientes personas:

- Al Dr. Federico Páez Osuna, por sus valiosas observaciones durante el desarrollo del presente trabajo.
- Al Q. Humberto Bojórquez Leyva, por el apoyo brindado en el trabajo de laboratorio.
- A la Bibliotecaria María Clara Ramírez Jáuregui, por su colaboración en la obtención de información bibliográfica.
- Al Mat. Germán Ramírez Reséndiz, por la asesoría en las tareas de computadora.
- Al M. en C. José Salgado Barragán, por la ayuda desinteresada en el trabajo de campo.
- A mis compañeros de generación, por el trabajo realizado como equipo.
- A los catedráticos del posgrado.

# INDICE

<b>1 INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>2 ANTECEDENTES.</b>	<b>4</b>
2.1 LOS BALANOS Y LA CONTAMINACIÓN MARINA	4
2.2 ESTUDIOS PREVIOS DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	10
2.3 POSICIÓN TAXONÓMICA DE LOS ORGANISMOS.	12
<b>3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.</b>	<b>15</b>
3.1 UBICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y DEMOGRAFÍA.	15
3.2 CLIMA	16
3.3 HIDROLOGÍA	18
3.4 PRODUCCIÓN PRIMARIA	19
<b>4 METODOLOGÍA.</b>	<b>21</b>
4.1 LIMPIEZA Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE LABORATORIO.	21
4.2 RECOLECCIÓN DE ORGANISMOS.	22
4.3 DEPURACIÓN DE ORGANISMOS.	23
4.4 MEDICIÓN DE PESO Y TALLA DE LOS ORGANISMOS.	24
4.5 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.	26
4.6 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.	27
4.7 EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA ANALÍTICA.	28
4.8 CÁLCULOS DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS.	28
4.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	29
<b>5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	<b>31</b>
5.1 RELACIÓN PESO-TALLA DE LOS ORGANISMOS.	31
5.1.1 <i>Balanus eburneus</i>	31
5.1.2 <i>Megabalanus coccopoma</i>	35
5.1.3 <i>Fistulobalanus dentivarians</i>	37

5.1.4 <i>Mytella strigata</i> .....	37
5.1.5 <i>Crassostrea corteziensis</i> .....	40
5.2 CONCENTRACIÓN DE METALES EN BALANOS. ....	42
5.3 CONCENTRACIONES MEDIAS DE METALES EN BALANOS Y MOLUSCOS BIVALVOS. ....	51
5.3.1 Comparación de medias de dos especies de balanos .....	58
5.3.2 Comparación de la bioacumulación de metales en <i>Mytella strigata</i> y <i>Crassostrea</i> <i>corteziensis</i> procedentes de un mismo sitio. ....	60
5.3.3 Análisis de regresión de metales y el peso seco medio individual en balanos y moluscos bivalvos. ....	61
5.4 COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES. ....	69
5.5 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN BALANOS. ....	73
5.6 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN MOLUSCOS BIVALVOS. ....	89
<b>6 CONCLUSIONES</b> .....	<b>108</b>
<b>7. LITERATURA CITADA.</b> .....	<b>111</b>

## INDICE DE TABLAS

<i>1. Localidades de muestreo</i>	<u>22</u>
<i>2. Condiciones de operación del espectrofotómetro</i>	<u>27</u>
<i>3. Contenido de metales en una muestra certificada</i>	<u>28</u>
<i>4. Metales pesados en tejidos duros de balanos</i>	<u>41</u>
<i>5. Metales pesados en tejidos blandos de balanos</i>	<u>44</u>
<i>6. Metales pesados en tejidos blandos de ostión</i>	<u>45</u>
<i>7. Metales pesados en tejidos blandos de mejillón</i>	<u>45</u>
<i>8. Concentraciones medias de metales en balanos</i>	<u>52</u>
<i>9. Concentraciones medias de metales en balanos y bivalvos</i>	<u>55</u>
<i>10. Concentraciones medias de metales por sitio de muestreo</i>	<u>57</u>
<i>11. Análisis de regresión de metales y peso medio individual</i>	<u>63</u>
<i>12. Metales pesados en balanos de otras localidades</i>	<u>70</u>
<i>13 Metales pesados en bivalvos de otras localidades</i>	<u>72</u>

## INDICE DE FIGURAS

1. Localización del área de estudio	17
2. Determinación de tallas en balanos y bivalvos	25
3. Relación peso-talla en <i>B. eburneus</i> de la estación Puente Juárez	32
4. Relación peso-talla en <i>B. eburneus</i> de la estación Muelle Bonfil	33
5. Relación peso-talla en <i>M. coccopoma</i> de la estación La Puntilla	34
6. Relación peso-talla en <i>F. dentivarians</i> de la estación El Espigón	36
7. Relación peso-talla en <i>M. strigata</i> de la estación El Espigón	38
8. Relación peso-talla en <i>C. corteziensis</i> de la estación El Espigón	39
9. Comparación de bioacumulación de metales en bivalvos	59
10. Relación entre metales y peso medio de balanos	64
11. Relación entre metales y peso medio de mejillón	65
12-14. Relación entre metales y peso medio de ostión	66-68
15. Concentraciones de Cd en balanos	74
16. Concentraciones de Cr en balanos	78
17. Concentraciones de Cu en balanos	79
18. Concentraciones de Fe en balanos	80
19. Concentraciones de Mn en balanos	82
20. Concentraciones de Ni en balanos	84
21. Concentraciones de Ag en balanos	85
22. Concentraciones de Pb en balanos	87
23. Concentraciones de Zn en balanos	88
24. Concentraciones de Cd en bivalvos	90
25. Concentraciones de Cu en bivalvos	94
26. Concentraciones de Cr en bivalvos	95
27. Concentraciones de Fe en bivalvos	97
28. Concentraciones de Mn en bivalvos	99
29. Concentraciones de Ni en bivalvos	101
30. Concentraciones de Ag en bivalvos	102
31. Concentraciones de Pb en bivalvos	104
32. Concentraciones de Zn en bivalvos	107

## **1 INTRODUCCIÓN.**

Las aguas naturales contienen mezclas complejas de metales pesados que son considerados como potencialmente tóxicos para los seres vivos, aunque muchos de ellos son esenciales para la vida en dosis pequeñas (Rainbow, 1993).

La bioacumulación de estos elementos depende en gran medida de sus propiedades bioquímicas así como de las estrategias de acumulación individual de los organismos para cada elemento (Phillips y Rainbow, 1993).

De hecho, algunas especies tienen diferentes sensibilidades a los contaminantes durante los diferentes períodos de su ciclo vital (Goldberg, 1976).

En el caso de los hábitats marinos, la influencia antropogénica los afecta debido a las interacciones biológicas, químicas y físicas a diferentes escalas de tiempo y espacio (GESAMP, 1995).

Existen evidencias para afirmar que la contaminación de los ecosistemas acuáticos por metales pesados en las zonas templadas se presenta principalmente en estuarios y regiones costeras, en los alrededores de los asentamientos densamente poblados; por lo tanto, es razonable asumir que existe un patrón similar en las regiones costeras de latitudes tropicales y subtropicales (Phillips, 1991).

Esto implica que muchos ríos y costas de estas regiones están en riesgo de contaminación.

En las dos últimas décadas, el considerable incremento en la utilización de técnicas de biomonitoreo ha demostrado la utilidad y versatilidad de los organismos en este tipo de estudios.

Los primeros estudios con especies de zonas templadas, dominados principalmente por los trabajos con moluscos bivalvos como Mytilus edulis Linné, 1758 se han extendido ahora hacia ambientes tropicales y subtropicales. A pesar de que en estas últimas regiones, existen problemas debido a la ausencia de especies con amplia distribución geográfica y a la escasez de estudios de este tipo. Esto se ha solucionado parcialmente mediante el uso de mejillones del género Perna y la utilización de nuevas especies como biomonitores.

Las especies utilizadas como biomonitores necesitan reunir ciertos requisitos (Phillips 1977, 1980, 1990; Bryan et al., 1980) para poder reflejar las condiciones del ambiente circundante. Estas especies deben ser:

- sésiles o sedentarias, de manera que sean representativas del área de estudio.
- abundantes, suficientemente longevas, fáciles de identificar y de recolectar durante todo el año, y de tamaño adecuado para proporcionar suficiente tejido para los análisis.
- resistentes, que toleren altos niveles de contaminación y amplios intervalos de salinidad y que permitan estudios de laboratorio de la cinética de incorporación o captura de los contaminantes.
- acumuladores netos de contaminantes, con una correlación simple entre la concentración del contaminante en los tejidos y la concentración media biodisponible en el ambiente en un tiempo reciente, siendo deseable que esta correlación sea la misma en todos los sitios de estudio.

Es claro que no todos los organismos marinos llenan estos requisitos. Las especies que son capaces de acumular sustancias presentes en el ambiente en niveles muy bajos son

particularmente útiles cuando concentran tales niveles, lo cual facilita la detección y análisis de los contaminantes (Hellowell, 1986).

La mayoría de los invertebrados marinos acumulan metales pesados sin regular su concentración. Esta acumulación necesariamente está asociada con mecanismos de almacenamiento de metales en forma no tóxica. Estos mecanismos caen en dos grandes categorías que no necesariamente son exclusivas. En una categoría, los metales están unidos en gránulos metalíferos insolubles; en la otra, se unen a ligandos que incluyen proteínas y forman complejos con metales que se conocen como metalotioneínas ( Rainbow, 1987).

De acuerdo con Chan et al. (1986), Phillips y Rainbow (1988), Phillips (1991) y Rainbow y Smith (1992), los balanos son acumuladores clásicos de altas concentraciones de algunos metales (Cd, Cu, Cr, Ni, Ag, Pb y Zn).

El puerto de Mazatlán está localizado en la parte sur del estado de Sinaloa, entre los 106° 20' 00'' y los 106° 25' 35'' de longitud oeste y entre los 23° 10' 36'' y los 23° 13' 00'' de latitud norte. Alcanza una superficie aproximada de 800 ha y profundidades que fluctúan entre 1 y 10 m. El puerto presenta una morfología típicamente lagunar, aunque se le conoce como estero de Urías.

Debido a que la zona de estudio esta sujeta a la influencia de actividades industriales y a la descarga de efluentes domésticos, se requiere llevar a cabo un monitoreo de las aguas para conocer su grado de contaminación.

Por lo tanto, con la realización de este estudio se pretende conocer la concentración media de nueve metales pesados en los tejidos blando y duro de los balanos antes mencionados y determinar, en caso de existir, el gradiente de contaminación en la zona de estudio.

## 2 ANTECEDENTES.

### 2.1 LOS BALANOS Y LA CONTAMINACIÓN MARINA

Los trabajos de medición de la contaminación costera por medio de balanos son escasos en latitudes tropicales. Sin embargo, su utilización se incrementó en las dos últimas décadas.

Walker *et al.* (1975a) trabajaron con Balanus balanoides (Linnaeus, 1767), Elminius modestus Darwin, 1854 y Lepas anatifera (L.) en diferentes sitios del Reino Unido. Encontraron que estos organismos acumulaban Zn en el tejido asociado al intestino y concluyeron que el nivel de este metal en el tejido suave generalmente reflejaba bien el nivel de Zn en el agua de mar circundante. Los valores de Zn encontrados en el tejido suave fluctuaron entre 138 y 3438 ppm en base al peso húmedo.

Walker *et al.* (1975b) estudiaron la composición química de los gránulos encontrados en las células del parénquima que rodea el intestino de Balanus balanoides procedente de diversos sitios en el Reino Unido. Se encontró que estos gránulos están compuestos principalmente de fosfato de Zn y algunos otros elementos como Mg, P, K, Ca y Fe en menores cantidades. Por lo tanto, parece razonable asumir que, aunque son muchos los metales pesados que entran al organismo, ya sea como alimento (fitoplancton y zooplancton) o con el agua de mar, la mayoría son expulsados del cuerpo. Si bien parte del Zn pudiera excretarse, la mayor parte que se acumula lo hace en forma de gránulos de fosfato de Zn insolubles que puede ser el producto final de un proceso de descodificación.

Ireland (1974) (en Phillips, 1977) describió los perfiles estacionales de Zn, Pb, Cu y Mn en Balanus balanoides procedente de dos sitios cercanos a ríos con descargas de minas en Gales del Sur (Reino Unido). Gran parte de las variaciones

estacionales en las concentraciones de metales aparentemente se debieron a fluctuaciones estacionales en el peso de los organismos, las cuales se relacionan con el estado reproductivo de los animales.

Barbaro *et al.*(1978) examinaron la capacidad de Balanus amphitrite Darwin, 1854 para acumular contaminantes por encima de los niveles ambientales en dos lagunas al norte del mar Adriático. Los niveles en los tejidos suaves fluctuaron desde 138 hasta 312 ppm (peso seco) para F, de 41 a 109 ppm para Cu, de 7.1 a 11.7 ppm para Pb, de 2.10 a 3.89 ppm para Cr, y de 0.96 a 1.35 ppm para Hg. Encontraron una acumulación de F que se conoce como la más alta para los invertebrados. Concluyeron que Balanus amphitrite posee la mayoría de las propiedades consideradas como esenciales para un indicador biológico.

White y Walker (1981) realizaron observaciones acerca de la entrada, acumulación y excreción de (<sup>65</sup>Zn) en Balanus balanoides y encontraron que la mayor acumulación se localiza en la región que rodea al intestino. El resto del Zn se encuentra en el tejido del parénquima. En los experimentos a largo plazo se muestra que, después de una caída inicial abrupta en el nivel del radioisótopo acumulado, el restante era perdido en bajas proporciones y lentamente, lo cual indica una excreción de Zn lenta.

Rainbow (1985) expuso especímenes del cangrejo Carcinus maenas (L.) y del balano Elminius modestus a un intervalo de concentraciones disueltas de Zn, Cu y Cd durante 21 días en agua de mar artificial. La acumulación de Zn y Cu por los cangrejos fue interpretada en términos de la presencia de un mecanismo de regulación para mantener constantes las concentraciones del cuerpo ( $83.2 \pm 19.4 \mu\text{g.g}^{-1}$  Zn en peso seco;  $39.8 \pm 9.8 \mu\text{g.g}^{-1}$  Cu en peso seco). En el caso de los balanos E. modestus estos presentaron acumulación neta de Zn, Cu y Cd,

sin hallarse evidencia de la regulación de las concentraciones del metal en su cuerpo.

Elliot *et al.* (1985) estudiaron la interacción entre la acumulación del Cu y Zn en el balano E. modestus y encontraron que estos elementos actúan antagónicamente: en presencia de concentraciones elevadas de Cu, la acumulación de dicho metal está acompañada de una pérdida de Zn mientras que la pérdida de Cu durante la depuración fue acompañada por la acumulación de Zn. Por esta razón E. modestus se considera inadecuado como organismo monitor de Cu y Zn en agua de mar.

Barber y Trefry (1981, en Bryan *et al.*, 1985) encontraron que existe una relación lineal entre la concentración de Cu disuelta en el agua de mar y la encontrada en el tejido blando de Balanus eburneus Gould, 1841. Por otro lado, la habilidad como indicador de Semibalanus balanoides (Linnaeus, 1767) con respecto al Zn parece verse afectada por el hecho de que el metal es acumulado continuamente cuando menos durante dos años de su vida. Se concluyó que se requiere mayor información acerca de las respuestas de los balanos a un grupo de metales pesados en el campo antes de que su utilización como biomonitores pueda ser completamente establecida.

Chan *et al.* (1986) determinaron las concentraciones de siete metales pesados (Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en tres especies de balanos (Capitulum mitella (L.), Tetraclita squamosa (Bruguière, 1789) y Balanus amphitrite) y en el mejillón Perna viridis (Linnaeus) en aguas de Hong Kong. Se encontró que tanto los balanos como los mejillones acumulan concentraciones de metales pesados en proporciones variables, posiblemente como reflejo de la biodisponibilidad de estos metales. Para el caso específico del Zn, Chan *et al.* (1986) consideran a los balanos como mejores acumuladores que el mejillón en presencia de altas

concentraciones de este elemento, por lo que se les consideró como buenos bioindicadores.

Anil y Wagh (1988) evaluaron la acumulación potencial de Cu y Zn en Balanus amphitrite recolectados en la costa oeste de la India. Se observó que podía acumular Cu hasta  $864.77 \mu\text{g g}^{-1}$  y Zn hasta  $1937.50 \mu\text{g g}^{-1}$  en base a peso seco. La concentración de estos dos metales en el agua circundante fue de  $0.001$  a  $0.011 \text{ mg l}^{-1}$  para el Cu y de  $0.013$  a  $0.046 \text{ mg l}^{-1}$  para el Zn.

Phillips y Rainbow (1988) llevaron a cabo un estudio comparativo entre balanos (Capitulum mitella, Tetraclita squamosa y Balanus amphitrite Darwin, 1854) y mejillones (Perna viridis) de las aguas costeras de Hong Kong como biomonitores de Cd, Cr, Cu, Pb y Zn. Las biodisponibilidades de los metales estudiados (excepto Cd) para todas las especies en los sitios de estudio fueron similares, proporcionando un patrón consistente de contaminación ambiental. La biodisponibilidad de Cd fue diferente entre las especies; esto puede deberse en parte a la ausencia de un gradiente marcado de contaminación por este metal en las aguas de Hong Kong. Se sugirió que estas especies de balanos se emplearan en áreas tropicales y subtropicales para establecer niveles de contaminación y monitorear tendencias a futuro.

Powell y White (1990) estudiaron en el laboratorio la acumulación de Cd, Cu, Pb y Zn en Semibalanus balanoides y Balanus crenatus, Bruguière, 1789 provenientes de las aguas del estrecho de Menai en el Reino Unido. Concluyeron que no había una regulación aparente para períodos de hasta 100 días al adicionar concentraciones de Cd ( $5-60 \mu\text{g l}^{-1}$ ), Cu ( $20-90 \mu\text{g l}^{-1}$ ), Zn ( $50-200 \mu\text{g l}^{-1}$ ) y Pb ( $20-80 \mu\text{g l}^{-1}$ ). Las concentraciones encontradas en los tejidos de los balanos después de 50 días de exposición indicaron niveles similares a los del ambiente circundante, lo cual se considera muy importante desde el punto

de vista del ahorro de tiempo y costos cuando se planea un monitoreo.

Rainbow y Smith (1992) llevaron a cabo un biomonitoreo de metales pesados en aguas costeras de Hong Kong utilizando Balanus amphitrite (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Ag, Cr, Co) y Tetraclita squamosa (Cu, Zn, Cd, Pb, Ni), con el fin de evaluar cambios en las biodisponibilidades locales. Los organismos se recolectaron en abril de 1986 y abril de 1989 y las concentraciones en el cuerpo variaron ampliamente en este lapso de tres años, particularmente en un área donde las biodisponibilidades de Cu, Zn, Cd, Pb y Cr se habían incrementado significativamente.

Rainbow y Phillips (1993) llevaron a cabo una revisión de los biomonitores cosmopolitas de metales pesados. Encontraron que varias especies de balanos podrían funcionar como tales, aunque estos autores indicaron que se requieren más estudios acerca de este tipo de organismos, particularmente en lo referente a estudios taxonómicos y de cinética de bioacumulación de metales pesados.

Rainbow *et al.*(1993) utilizaron Balanus amphitrite, Balanus uliginosus Utinomi,1967 y Tetraclita squamosa como biomonitores de Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Ni y Ag en aguas costeras de China. Encontraron gradientes de contaminación evidentes para el Zn y el Cu particularmente, en una de las localidades estudiadas. Concluyeron que las tres especies estudiadas tienen gran potencial como biomonitores monoespecíficos y propusieron considerar a Balanus amphitrite como biomonitor a nivel mundial, a Tetraclita squamosa para la región del Indopacífico y a Balanus uliginosus para los estuarios del sureste asiático.

Watson *et al.* (1995) cuantificaron las concentraciones de Mg, Sr, Mn, Zn y Cu en el tejido duro del balano Semibalanus balanoides procedente de las costas de Gales en el Reino Unido.

Concluyeron que aunque las concentraciones de los metales en las conchas de los balanos reflejan las del ambiente, otros factores como la variabilidad intrapoblacional y el crecimiento rápido del tejido duro también influyen en su detección por lo que la concha de los balanos no puede ser considerada como un material de biomonitoreo adecuado.

## 2.2 ESTUDIOS PREVIOS DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

En el sitio donde se realizó este estudio, el cual se conoce como "Estero de Urías", existen trabajos publicados que se relacionan con la concentración de algunos metales pesados en la columna sedimentaria, en la columna de agua y en algunos organismos.

En el caso de las aguas del "Estero de Urías", Páez-Osuna y Marmolejo-Rivas (1990a) y Marmolejo-Rivas y Páez-Osuna (1990) trabajaron a lo largo de un año en la cabeza lagunar con la finalidad de cuantificar los niveles de algunos metales pesados en la fracción disuelta ( $<0.45 \mu\text{m}$ ) y en la fracción particulada ( $>0.45 \mu\text{m}$ ) del agua. Los niveles medidos fueron del siguiente orden:

- a) Fracción disuelta: Co = (0.15 - 0.65  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Cu = (0.63 - 2.04  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Fe = (0.63 - 14.6  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Mn = (0.09 - 0.92  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Ni = (1.09 - 3.53  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Pb = (0.34 - 1.26  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) y Zn = (8.40 - 56.9  $\mu\text{g l}^{-1}$ ).
- b) Fracción particulada: Cd = (0.02 - 0.30  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Co = (0.06 - 1.14  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Cr = (0.29 - 1.14  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Cu = (0.62 - 3.89  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Fe = (0.56 - 1.33  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Mn = (9.60 - 50.5  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Ni = (0.55 - 2.18  $\mu\text{g l}^{-1}$ ); Pb = (1.25 - 5.51  $\mu\text{g l}^{-1}$ ) y Zn = (0.74 - 8.75  $\mu\text{g l}^{-1}$ ).

Adicionalmente, Osuna-López *et al.* (1989) evaluaron los niveles de metales pesados en muestras de agua superficial recolectadas en diferentes sitios del complejo lagunar. Encontraron que los niveles más elevados en las fracciones disuelta y particulada del agua de mar se presentaron en las estaciones ubicadas junto al área industrial y en las cercanías de la planta termoeléctrica "José Aceves Pozos". Cabe señalar que

solamente el Ni y el Zn presentaron valores comparables o mayores a los de sitios afectados de otras regiones del mundo.

En un estudio con sedimentos, Osuna-López *et al.* (1986) lograron cuantificar las concentraciones de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos superficiales del sistema lagunar. Dichos autores encontraron que la fracción biodisponible más elevada se evaluó en las muestras recolectadas en la zona intermedia del complejo lagunar, esto es, en las estaciones ubicadas entre el canal de navegación y la planta termoeléctrica "José Aceves Pozos".

Personal de la Secretaría de Marina (1974) cuantificó las concentraciones de Cd, Cu, Hg, Pb y Zn en 6 especies de peces de la zona de Mazatlán, y encontraron un valor máximo de 24 ppm para el caso del Zn en Gerres sp. (mojarra blanca) y Chaetodipterus zonatus Girard (monita).

Páez-Osuna *et al.* (1988) midieron las concentraciones de nueve metales pesados (Cu, Cr, Co, Cd, Ni, Mn, Fe, Pb, y Zn) en cuatro organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: el ostión de mangle Crassostrea corteziensis (Hertlein, 1951) el mejillón Mytella strigata (Hanley, 1843) y las esponjas Zygomycale parishii Bowerbonk y Sigmatocia caerulea de Laubenfels. Los niveles de metales encontrados en el estudio corresponden a los niveles básicos naturales de estas cuatro especies filtradoras, con la excepción del Ni en el mejillón del antepuerto de Mazatlán.

Posteriormente, Páez-Osuna y Marmolejo-Rivas (1990b) y Marmolejo-Rivas y Páez-Osuna (1990), cuantificaron los niveles de nueve metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn) a lo largo de un año en Crassostrea corteziensis y Mytella strigata. Los resultados indicaron que los niveles de Co, Cr, Ni y

Pb en el tejido blando de los bivalvos, reflejaron los niveles existentes en el material particulado de las aguas estuarinas.

En otro estudio, Osuna-López *et al.*(1990) revisaron la relación entre la posición de los ostiones (Crassostrea corteziensis) sobre la raíz del mangle y la concentración de siete metales pesados (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en el tejido blando de los organismos. Para el caso del Cu y el Co, los individuos recolectados sobre las secciones más superficiales en las raíces del manglar (*i.e.* cerca de la línea de la pleamar) pueden contener concentraciones significativamente más elevadas que las correspondientes a secciones inferiores.

### 2.3 POSICIÓN TAXONÓMICA DE LOS ORGANISMOS.

Los organismos estudiados en el presente trabajo se conocen comúnmente como balanos, ostiones y mejillones. Con la finalidad de tener una visión más clara acerca de cada una de las especies mencionadas, se presentan algunas generalidades taxonómicas de cada una de ellas.

Los balanos son exclusivamente marinos y con excepción de algunas formas parásitas forman el único grupo de crustáceos sésiles (Barnes, 1974). Los balanos quedan comprendidos dentro de la clase de los crustáceos, un grupo bastante grande dentro del filo Arthropoda (existen más de 30 000 especies), con una historia taxonómica llena de cambios y revisiones de los taxa. Estos cambios de nombres y revisiones son principalmente el reflejo de: (a) el gran tamaño del taxon, y (b) el conocimiento incompleto de su biología y sistemática. Aunque algunos grupos se conocen bien en la actualidad, muchas especies aún no han sido descritas. Por otro lado, aún no se conoce con exactitud la biología de muchas de las especies descritas (Rainbow, 1987).

Se trabajó con tres especies de balanos: Balanus eburneus, Megabalanus coccopoma (Darwin, 1854) y Fistulobalanus dentivarians. (Henry, 1973) Estas tres especies pertenecen a la familia Balanidae (Filum: Arthropoda, Clase: Crustacea, Subclase: Cirripedia, Orden: Thoracica, Superfamilia: Balanoidea)

La distribución geográfica de B. eburneus comprende desde las costas de Boston, Massachusetts, Estados Unidos a Río de Janeiro, Brasil. Se considera endémica del Atlántico Occidental, aunque ha sido introducida en Europa, el Mediterráneo, el Océano Indico, Japón, Hawai y en otras islas del Océano Pacífico (Newman y Ross, 1976). Se sabe que esta especie se ha introducido a diversas partes del mundo por medio de barcos (Zullo *et al.*, 1972).

M. coccopoma se distribuye de Mazatlán, México a Panamá, es conocido también en Río de Janeiro, en Mauricio, en China y Nueva Caledonia (Newman y Ross, 1976). Newman y McConnaughey (1985) informaron de la presencia de esta especie por primera vez, en aguas de San Diego en California, posterior a un evento El Niño en 1982-1983.

Se considera a Fistulobalanus dentivarians como sinónimo de Fistulobalanus suturaltus (Henry, 1973) y se distribuye desde el suroeste de México a Ecuador (Newman y Ross, 1976).

Los ostiones recolectados pertenecen a un grupo de invertebrados bien conocidos para la región del golfo de California. El filum Mollusca comprende más de 3300 especies descritas dentro de la región Panámica, de las cuales la mayoría se presentan en el Golfo de California. Actualmente, la taxonomía de los géneros y especies se basa principalmente en la concha y algunas características de la rádula; sin embargo, las categorías superiores se basan en rasgos de la anatomía interna, además de ciertas diferencias en la estructura de la concha.

Los pelecípodos o bivalvos tienen una concha compuesta de dos valvas en cuyo interior se encuentran las partes blandas. Estas valvas tienen una articulación que mantiene las valvas en posición por medio de un ligamento quitinoso. Las especies que viven en la arena o en el fango están provistas de un pie modificado que les sirve para excavar. La región posterior del manto está modificada en extensiones tubulares o simplemente como aberturas en los extremos que funcionan como sifones. El sifón ventral trae agua y partículas de alimento hacia la cavidad del manto mientras que el dorsal expelle el agua y material de desecho. En la cavidad del manto, el agua pasa por las branquias para el proceso de respiración. Además, las partículas de alimento son atrapadas en las branquias y pasan a la boca por medio de las corrientes ciliares (Brusca, 1980).

El ostión de mangle Crassostrea corteziensis pertenece a la familia Ostreidae (Clase: Pelecípoda, Orden: Pteroidea). Su distribución geográfica comprende desde la cabeza del golfo de California hasta Panamá (Keen, 1971).

Existen muchas especies de mejillones, que ocupan una amplia variedad de hábitats. Algunas especies están pegadas a las rocas y pilares por medio del biso, mientras que otras se presentan sobre el fango. Los mejillones son sésiles y tienden a agregarse en grandes masas. Al igual que muchos bivalvos, los mejillones son filtradores que extraen los microorganismos del agua (Brusca, 1980). La especie de mejillón que se seleccionó para trabajar en la región del puerto de Mazatlán es Mytella strigata, la cual pertenece a la familia Mytilidae (Clase: Pelecípoda, Orden: Mytiloidea). Su distribución geográfica comprende desde Guaymas, Sonora, México hasta El Salvador y las islas Galápagos (Keen, 1971).

### **3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

#### **3.1 UBICACIÓN, CLASIFICACIÓN Y DEMOGRAFÍA.**

El puerto de Mazatlán está localizado en la parte sur del estado de Sinaloa, entre los 106° 20' 00'' y los 106° 25' 35'' de longitud oeste y entre los 23° 10' 36'' y los 23° 13' 00'' de latitud norte. Las profundidades fluctúan entre 1 y 10 m. El puerto presenta una morfología típicamente lagunar, aunque se le conoce como estero de Urías (Fig. 1). De acuerdo a la clasificación de lagunas costeras de México, se considera como un cuerpo de agua del tipo IIIB (IIIA), es decir, laguna costera con barrera de plataforma interna en la cual los ejes de orientación son paralelos a la línea de costa (Lankford, 1977). De acuerdo con la clasificación de estuarios de Pritchard (1967), puede considerarse como un estuario negativo, ya que la pérdida de agua por evaporación excede a la entrada de agua dulce por precipitación y escurrimientos, además de que el aporte por escurrimiento fue disminuido con motivo de la construcción del aeropuerto internacional de Mazatlán y por los procesos naturales de azolvamiento.

Mazatlán es el municipio más importante del sur de Sinaloa. Concentra 357 229 habitantes (INEGI, 1995), con una tasa media de crecimiento del 2.3 % anual, en un área urbana de 4 362 ha. La población que reside en el municipio de Mazatlán ha crecido a un ritmo acelerado. De acuerdo con los censos, pasó de 76 463 habitantes en 1950 a 167 616 en 1970 y llegó a 314 249 en 1990. Esto significa que aproximadamente cada 20 años la población se duplica, por lo que se estima que superará el medio millón de habitantes para el año 2 000 conforme a esa tendencia. Atendiendo a la importancia que tiene el peso relativo de la actividad económica del municipio de Mazatlán sobre el total del estado, se considera que el municipio es importante en los

renglones comercial y de servicios, en el manufacturero, de la construcción y de la pesca.

En 1988 existían en el municipio 83 industrias establecidas. En 1990 se establecieron 11 empresas de nueva creación. Los rubros que cubren estas industrias corresponden principalmente, a la reconstrucción de autobuses y camiones, a la planta procesadora de pescado, al alimento balanceado para camarón, a las galvanizadoras y cromadoras, a las telecomunicaciones, a la industrialización de productos tropicales, a la elaboración de productos cárnicos y a la elaboración de productos del mar y agua purificada (ITESM, 1994).

### 3.2 CLIMA

El clima de la región es tropical y subtropical, con lluvias en verano y una temporada de sequía muy marcada (García, 1964).

Sobre la planicie costera se manifiesta un clima semi-cálido, semi-seco con temperatura media anual de 25 °C. Los registros meteorológicos de 43 años muestran una media anual de 148 mm de precipitación pluvial, con máximos anuales de 215.4 mm en 24 horas (durante octubre) y 94 mm en una hora, frecuentemente acompañadas de huracanes y tormentas tropicales a finales del verano. Para este mismo período, el índice medio anual de evaporación es de 2146.8 mm (Dirección de Estadística y Estudios Económicos, 1985).

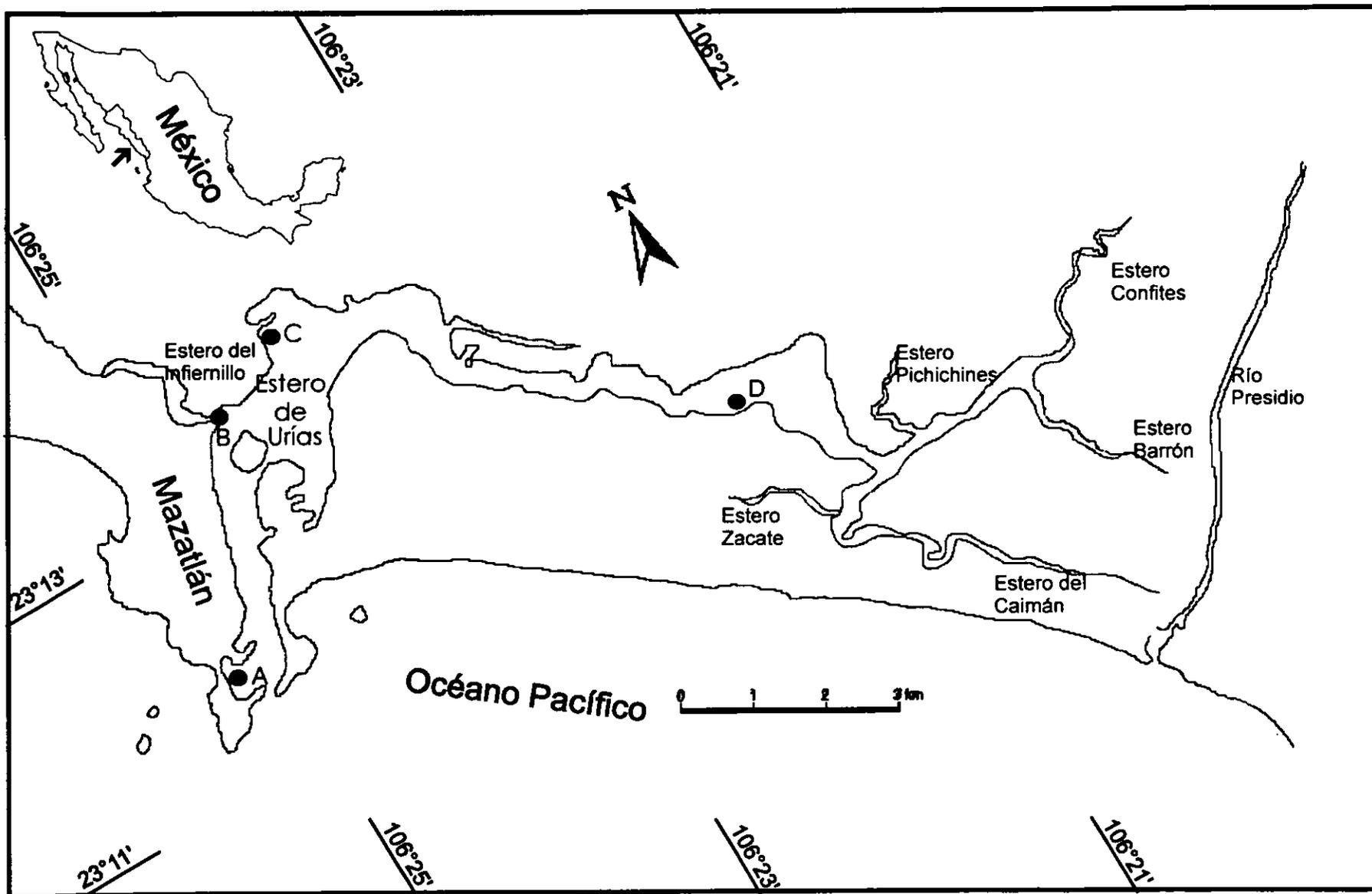


Fig.1. Localización del área de estudio y ubicación de las estaciones de muestreo.

### 3.3 HIDROLOGÍA

Temporalmente, y sobre todo en la época de lluvias, el cuerpo lagunar recibe aguas de escurrimiento mediante un complejo sistema de esteros (Pichichines, Confites, Barrón, Zacate y Caimán) situados en la parte meridional del sistema. La salinidad superficial presenta cambios notables, con un intervalo de 32.9 a 38.7 ‰, observándose una media de 34.5 ‰ para el otoño y 34 ‰ para el invierno. La salinidad del agua de fondo tiene muy pocas variaciones con respecto a la de superficie, manteniéndose diferencias máximas de 0.3 ‰ (Alvarez., 1977; Heredia *et al.*, 1988).

Alvarez-León (1980), concluye que las aguas del estuario se renuevan en un tiempo relativamente corto, lo que permite que la mayoría de las aguas negras, los desechos industriales, las aguas sobrecalentadas y de sentina sean reemplazadas en un período corto.

En este sentido, Páez Osuna *et al.* (1990) estimaron un tiempo de residencia de 5.5 y 6.5 días para el material suspendido y el P, respectivamente, considerando un flujo unidimensional. Sin embargo, en las áreas tranquilas como canales meándricos, marismas, zonas de manglares y muelles se acumula una cantidad apreciable de materiales y contaminantes vertidos al estero de Urías que representan un peligro potencial para la ecología del sistema.

El proceso de sedimentación natural ha sido acelerado por el crecimiento poblacional en la rivera del sistema y por el incremento de infraestructura industrial y portuaria. En efecto, en la mayoría de estos casos, se destruyen las zonas de manglar,

las cuales en condiciones normales retienen sedimentos en las orillas del sistema. Aunado a lo anterior, en el año de 1987 se inició la construcción de un tapo para una mejor explotación del camarón. Indudablemente, la presencia de este tapo repercutió en la dinámica sedimentaria del sistema y condujo al azolve de esteros, como es el caso del Infiernillo. En cuanto a los sustratos sedimentarios, varían desde fangos, limo-arenas, hasta arenas. Los sedimentos arenosos predominan en el canal de navegación, ya que es dragado periódicamente (Osuna-López *et al.*, 1986).

### 3.4 PRODUCCIÓN PRIMARIA

El estero de Urías tiene una tasa de productividad primaria elevada si se compara con otros ecosistemas similares. Su productividad neta diaria es del orden de  $2.36 \text{ gC m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ , equivalente a un valor anual de  $0.86 \text{ kgC m}^{-3} \text{ año}^{-1}$ . La variación estacional presenta máximos en primavera-verano ( $5.34 \text{ gC m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ) y mínimos en invierno ( $0.1 \text{ gC m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ ; Robles-Jarero, 1985).

La elevada productividad de esta laguna puede atribuirse al exceso de material orgánico de origen antropogénico que recibe y que conduce a niveles elevados de nutrientes durante la remineralización de la materia orgánica. Este mecanismo favorece la productividad primaria de una amplia diversidad de especies fitoplanctónicas estuarino-lagunares y marinas, entre las que predominan las diatomeas y dinoflagelados (Priego, 1985), así como la productividad de macroalgas bentónicas entre las que

predominan Rhizoclonium sp., Hydrocoleum sp. y Chaetomorpha sp. (Alvarez-León, 1980).

Durante 1980, Cortés Altamirano y Pastén Miranda (1982a, 1982b, 1984, 1985) estudiaron la composición, abundancia y distribución del fitoplancton del estero de Uriás, encontrando las siguientes variaciones a lo largo de las estaciones del año: durante las épocas de primavera, verano y otoño las diatomeas conforman el grupo con mayor abundancia, seguidas de los fitoflagelados. En el invierno los fitoflagelados dominan plenamente todo el sistema estuarino, seguidos por el grupo de las diatomeas.

## **4 METODOLOGÍA.**

### **4.1 LIMPIEZA Y PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE LABORATORIO.**

En virtud de que los recipientes para guardar las muestras representan una de las fuentes de contaminación más importantes, la confiabilidad de las determinaciones dependerá tanto del tipo de materiales de fabricación de los recipientes como del método de limpieza de los mismos. Todo el material que hace contacto con las muestras se sometió al procedimiento de limpieza que a continuación se describe (Moody y Lindstrom, 1977):

- Lavado con agua corriente y solución jabonosa.
- Enjuague con agua destilada.
- Inmersión en ácido clorhídrico 2M durante 72 horas.
- Enjuague con agua destilada.
- Inmersión en ácido nítrico 2M durante 72 horas.
- Enjuague con agua destilada.
- Secado a temperatura ambiente.

El material limpio se almacena en bolsas de polietileno en un lugar seco y libre de polvo para asegurar la ausencia de cualquier agente contaminante metálico.

## 4.2 RECOLECCIÓN DE ORGANISMOS.

Cuatro estaciones de muestreo fueron ubicadas e identificadas por un código (A a D) a lo largo del cuerpo lagunar (Tabla 1).

Tabla 1. Localidades de muestreo y especies de balanos recolectadas en cada sitio.

<i>Código</i>	<i>Localización</i>	<i>Especie recolectada</i>
A	La Puntilla	<u>Megabalanus coccopoma</u>
B	Puente Juárez	<u>Balanus eburneus</u>
C	Muelle Bonfil	<u>Balanus eburneus</u>
D	El Espigón	<u>Fistulobalanus dentivarians</u>

La estación A se denomina La Puntilla y se localiza en un área de movimiento portuario, cerca de la boca del sistema lagunar. Megabalanus coccopoma es una especie de origen marino lo cual favorece su predominio en esta estación.

En la estación B se seleccionó a Balanus eburneus por ser la especie mejor representada. Esta estación se denomina Puente Juárez y se localiza en el sitio del mismo nombre donde se conecta el estero del Infiernillo que recibe gran cantidad de desechos domésticos.

La estación C se conoce como Muelle Bonfil. Se localiza en el sitio de atraque de los barcos atuneros y además está sujeta a la influencia de las descargas de tipo orgánico e inorgánico provenientes de las embarcaciones y de las industrias que se asientan en el área. Balanus eburneus es la especie de balano mejor representada en este sitio, razón por la cual fue seleccionada.

La estación D se denomina El Espigón y se localiza en la cabeza lagunar. En esta zona, aparentemente no hay influencia directa de tipo antropogénico, con excepción de los efluentes de una granja camaronícola. La especie de balano predominante en esta estación es Fistulobalanus dentivarians . En este sitio fue posible encontrar ostiones (Crassostrea corteziensis) y mejillones (Mytella strigata), por lo que se procedió a recolectar paralelamente individuos de estas dos especies, con la finalidad de comparar las concentraciones de metales en los tejidos blandos de cada uno de los organismos citados.

La obtención de muestras se realizó entre octubre de 1995 y agosto de 1996. Para cada estación del año dos visitas fueron realizadas. El desplazamiento hacia las diferentes localidades de muestreo se llevó a cabo en una embarcación de fibra de vidrio de 14 pies de eslora con motor fuera de borda de 48 caballos de potencia.

En cada sitio los organismos fueron extraídos por medio de un cuchillo de campo de acero inoxidable y fueron transportados al laboratorio en cajas de plástico.

En la estación El Espigón (D) se tomaron aproximadamente 50 l de agua con la finalidad de llevar a cabo el procedimiento de depuración de los bivalvos en el laboratorio antes de proceder a su preparación y disección.

#### 4.3 DEPURACIÓN DE ORGANISMOS.

Para eliminar el contenido de metales en el intestino de los moluscos bivalvos previo a su análisis, estos fueron sometidos a un procedimiento de depuración durante 48 horas en agua de mar y con suministro de aire. En muchas investigaciones con organismos marinos y estuarinos, la biota se mantiene por un

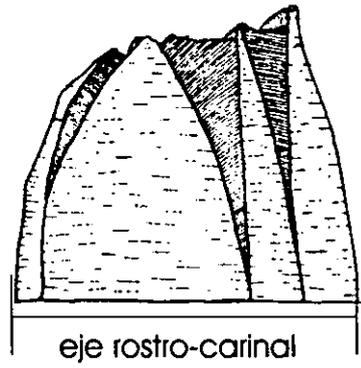
tiempo en agua de mar limpia después de su captura y antes de llevar a cabo los análisis. La finalidad de este período de depuración es permitir la completa excreción del contenido intestinal, dentro del cual puede haber alimento digerido, no digerido y partículas de sedimento, los cuales pueden ser ricos en metales pesados. Resulta claro que si la depuración no se lleva a cabo, los resultados analíticos del organismo completo incluirán aquellos metales asociados con el contenido intestinal; esto puede contribuir no solamente a variaciones individuales en una población, sino que en algunos casos puede ser una contribución muy significativa para la carga total del metal en el organismo (NAS, 1980).

En un estudio con ostiones del Pacífico Crassostrea gigas (Thunberg, 1793) Szefer *et al.* (1997) mantuvieron los organismos recolectados inmersos en agua de mar por un período de 24 horas para limpiar los canales alimenticios. Asimismo, Phillips (1976) trabajó con el mejillón Mytilus edulis y mantuvo los organismos durante 48 horas en agua de mar limpia antes de realizar los análisis para propiciar una evacuación completa de los productos de la digestión de los organismos.

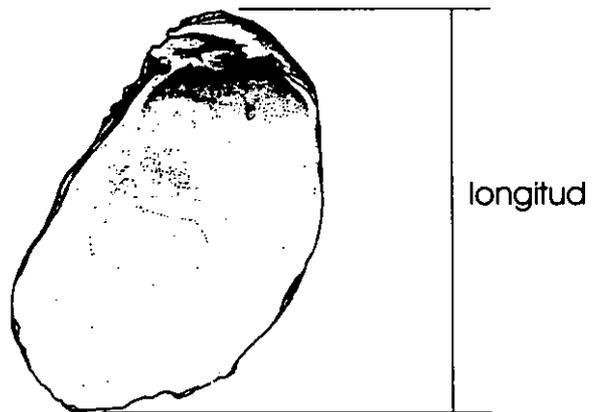
#### 4.4 MEDICIÓN DE PESO Y TALLA DE LOS ORGANISMOS.

Con el propósito de conocer algunos aspectos relacionados con el crecimiento de los balanos, se midieron y pesaron individualmente con un vernier (con una precisión de 1 mm) y una balanza granataria (con una precisión de 1 mg) respectivamente. En el caso de los balanos, la talla de los organismos corresponde al eje rostro carinal, mientras que en el caso del ostión y el mejillón la medida correspondiente se refiere a la longitud del organismo (Fig.2). Se formaron clases de talla para las tres especies de balanos y las dos especies de bivalvos (Figs. 3 a 8).

(a)



(b)



(c)

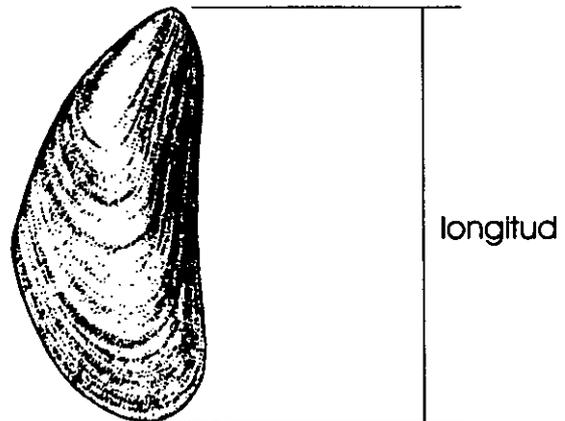


Fig. 2 Medida tomada para la determinación de la talla del balano (a), ostión (b) y mejillón (c).

#### 4.5 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS.

Una vez que los organismos fueron pesados y medidos se procedió a efectuar la separación de tejidos duros y tejidos blandos con un cuchillo de acero inoxidable. A partir de este momento, cada tipo de tejido fue sometido a un procedimiento específico. En el caso de los tejidos blandos, tanto de balanos como de bivalvos, las muestras compuestas de balanos (60 individuos), de mejillones (30 individuos) y de ostiones (25 individuos) fueron secadas dentro de un estufa a 60 °C durante siete días; posteriormente, fueron molidas en mortero de teflón y digeridas con ácido nítrico concentrado hasta sequedad, a un intervalo de temperatura de 90-110 °C (Páez-Osuna *et al.* 1988). Las muestras secas fueron disueltas con ácido nítrico diluido (2M) y colocadas en tubos de polietileno para separar los residuos de material suspendido por medio de centrifugación durante 10 minutos a 3500 rpm.

Por lo que respecta a los tejidos duros, solamente las conchas de los balanos fueron analizadas según la técnica descrita por Foster y Chacko (1995). Las muestras compuestas de tejido duro (correspondientes al mismo número de organismos utilizados para los tejidos blandos), fueron lavadas con agua corriente y se eliminaron manualmente los restos de flora y fauna adheridos a las conchas. Posteriormente se enjuagó cada muestra con agua destilada para proceder a su limpieza en un baño ultrasónico durante 10 horas aproximadamente. Para finalizar la limpieza, se enjuagó nuevamente con agua destilada y se secó a temperatura ambiente.

El ataque químico se inició con peróxido de hidrógeno al 30%, utilizando 1 ml por cada gramo de muestra, durante aproximadamente 12 horas a 60 °C. Posteriormente, se enjuagó con agua destilada y se adicionó ácido clorhídrico 0.05 M en la

proporción de 1 ml por cada g de muestra y se dejó reposar aproximadamente 12 horas.

Las conchas fueron lavadas nuevamente y secadas a temperatura ambiente para pulverizarlas por medio de un mortero de teflón. Los duplicados de las muestras (2 g) fueron digeridos en una mezcla de ácido nítrico y peróxido de hidrógeno al 30% (1:1). Después de evaporación a sequedad, el residuo se disolvió en ácido clorhídrico concentrado y llevado a sequedad. El residuo final se disolvió en ácido clorhídrico diluido (0.05 M) y se aforó a un volumen final de 20 ml. La solución resultante se centrifugó a 3500 rpm durante 10 minutos y se almacenó el sobrenadante en frascos de polietileno. Paralelamente, se realizó un blanco por cada 10 muestras.

#### 4.6 ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.

Se analizaron tres alícuotas de cada muestra por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica marca Shimadzu modelo AA-630-12 de acuerdo con las especificaciones de la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de operación del espectrofotómetro de absorción atómica en relación con el metal analizado.

Metal	Long. onda (nm)	Ancho de banda (Å)	Mezcla combustible	Flujo gases (l min <sup>-1</sup> )		Corriente en lámpara (mA)
				aire	acetileno	
Cd	228.8	1.9	Aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9	1.5	6
Cu	324.7	1.9	Aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9	1.5	10
Cr	357.9	1.9	Aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9	3.0	10
Fe	248.3	1.9	Aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9	2.0	10
Mn	279.5	1.9	Aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9	2.5	10
Ni	232.0	1.9	Aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9	1.5	10
Ag	328.1	1.9	Aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9	1.6	10
Pb	283.3	1.9	Aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9	2.5	6
Zn	213.9	1.9	Aire-C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	9	1.5	10

#### 4.7 EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA ANALÍTICA.

Para determinar la precisión y exactitud del método utilizado se analizó un material de referencia consistente en material biológico homogenizado de Penaeus duorarum Burkenroad, 1939 (MA-A-3/TM), con valores estandarizados de acuerdo con un estudio de intercalibración realizado por la Agencia Internacional de Energía Atómica (1987; Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de los análisis del contenido de metales en una muestra de crustáceo (P. duorarum) certificada por la Agencia Internacional de Energía Atómica (1987).

Metal	Conc. establecida ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Intervalo de confianza en $\mu\text{g g}^{-1}$ ( $\alpha$ 0.05)	Conc. encontrada en $\mu\text{g g}^{-1}$ ( $n= 5$ ) $\pm \sigma$	Coefficiente de variación (%)
Cd	0.63	0.56 - 0.70	$0.99 \pm 0.12$	12.1
Cr	1.11	0.75 - 1.47	$0.57 \pm 0.34$	59
Cu	22.0	21.3 - 22.7	$24.7 \pm 3.1$	12.5
Fe	55.9	52.6 - 59.2	$54.5 \pm 5.42$	9.9
Mn	4.03	3.74 - 4.32	$4.06 \pm 0.39$	9.6
Ni	1.50	0.95 - 2.05	$2.30 \pm 0.41$	17.8
Zn	65.7	63.2 - 68.2	$88.2 \pm 24.1$	27.3

En dicha tabla se observa que las concentraciones de los metales encontrados corresponden con los intervalos de confianza, sobretodo considerando la desviación estándar de la metodología, la cual en el caso del Zn y el Cr tiene una pobre precisión.

#### 4.8 CÁLCULOS DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS.

La concentración de cada metal fue determinada cuantitativamente por medio del método de adición de

estándares. Este método es ampliamente utilizado en absorción atómica y espectrofotometría de emisión y también ha encontrado aplicación en análisis electroquímico y otras áreas. Tres alícuotas de un gramo (peso seco) de cada muestra fueron analizadas. A iguales volúmenes de la muestra en solución se les adicionan 1, 2 y hasta 4 veces la cantidad esperada de cada metal y todas se diluyen al mismo volumen (Miller y Miller, 1988).

Así, la intensidad media de las adiciones de estándares fue utilizada para calcular las concentraciones reales (Páez-Osuna y Tron-Mayen, 1995). Las concentraciones de los diferentes metales se expresaron como  $\mu\text{g.g}^{-1}$  en base a peso seco.

#### 4.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para el caso del balano Balanus eburneus, recolectado en las estaciones Muelle Bonfil (C) y Puente Juárez (B), se utilizó una prueba de *t de Student* para comparación de medias de dos muestras para determinar eventuales diferencias significativas en la concentración de metales pesados, de acuerdo a la siguiente ecuación (Miller y Miller, 1988)

$$t = (x_1 - x_2) / s \sqrt{(1/n_1 + 1/n_2)}, \text{ donde}$$

$x_1$  es la concentración media del metal de interés en el organismo recolectado en la estación Muelle Bonfil (C),

$x_2$  es la concentración media del metal de interés en el balano recolectado en la estación Puente Juárez (B),

$s$  es la desviación estándar de las desviaciones agrupadas, y

$n$  es el número de observaciones o determinaciones realizadas.

Adicionalmente, se compararon mediante la prueba *t de Student* las concentraciones de los diferentes metales en los tejidos blandos del ostión de mangle (Crassostrea corteziensis) y el mejillón (Mytella strigata) para saber si las concentraciones varían proporcionalmente en los dos bivalvos.

Por último, se llevó a cabo un análisis de regresión de los diferentes metales y el peso seco medio individual de los balanos y los moluscos, con la finalidad de conocer si existe correlación entre estas dos variables.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La cuantificación de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb y Zn en los balanos Balanus eburneus, Fistulobalanus dentivarians y Megabalanus coccopoma y en el ostión de mangle Crassostrea corteziensis y el mejillón Mytella strigata, se presenta en forma separada para facilitar la interpretación de los resultados.

### 5.1 RELACIÓN PESO-TALLA DE LOS ORGANISMOS.

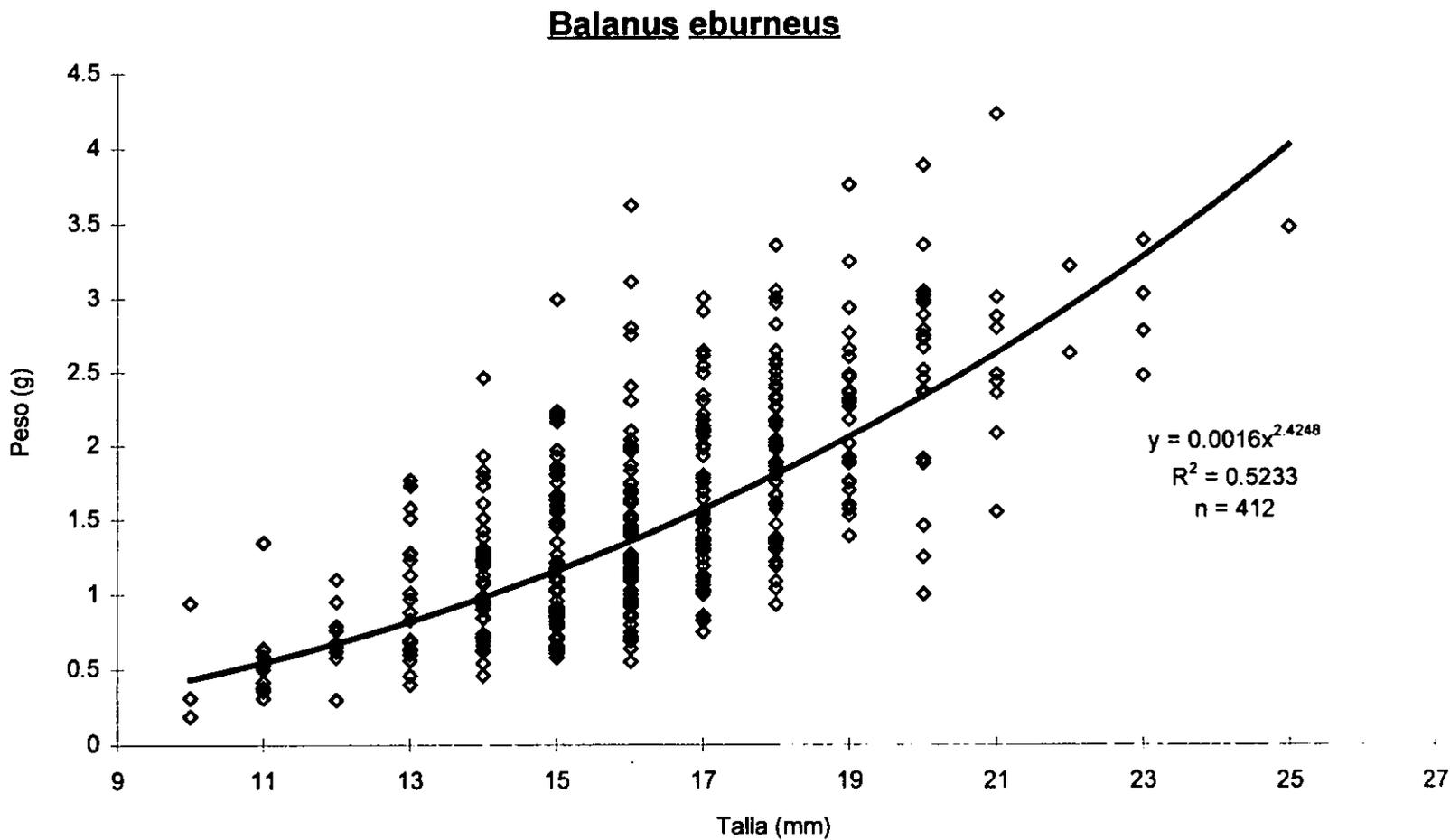
Para saber si existen diferencias en el crecimiento de los balanos y moluscos bivalvos de los diferentes sitios, se determinó la variación de la talla con respecto al peso húmedo.

Las gráficas que se presentan en las figuras 3 a la 8 corresponden a los datos de la totalidad de organismos estudiados durante el ciclo de muestreo.

#### 5.1.1 Balanus eburneus

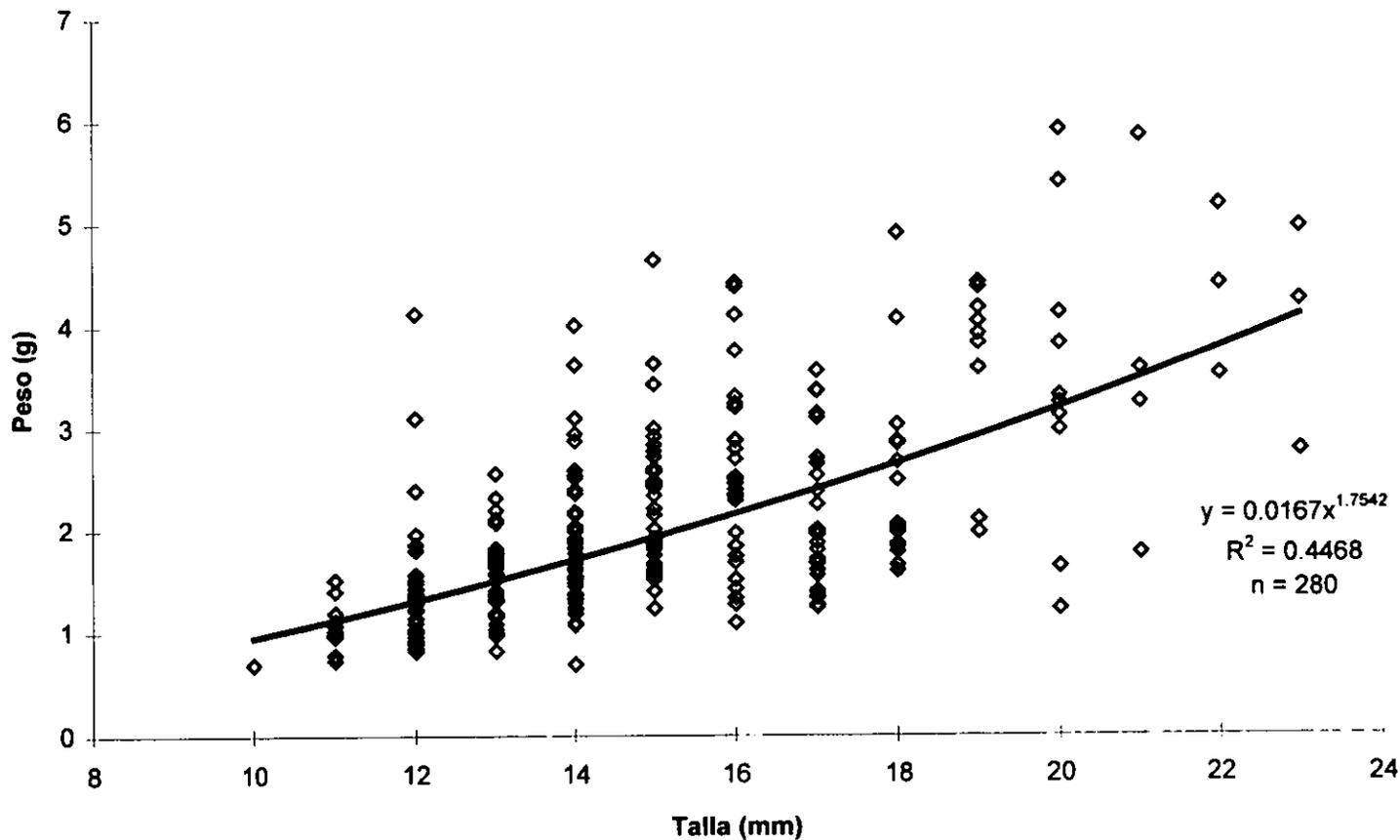
La figura 3 muestra la relación entre el peso y la talla de los organismos de Balanus eburneus recolectados en la estación Puente Juárez entre octubre de 1995 y agosto de 1996. Se observa que la curva que mejor se ajusta a los puntos es de tipo potencial y la ecuación que describe esa curva esta dada como  $y = 0.0016x^{2.4248}$  ( $r = 0.72$ ;  $n = 412$ ,  $p < 0.05$ ). Cabe mencionar que estos organismos pueden tener un crecimiento irregular debido al espacio limitado en el que viven, de tal forma que se compensa con un incremento en su talla (Crisp, 1960).

El intervalo de tallas osciló entre 25 mm y 10 mm y el peso entre 3.46 g y menos de 1 g.



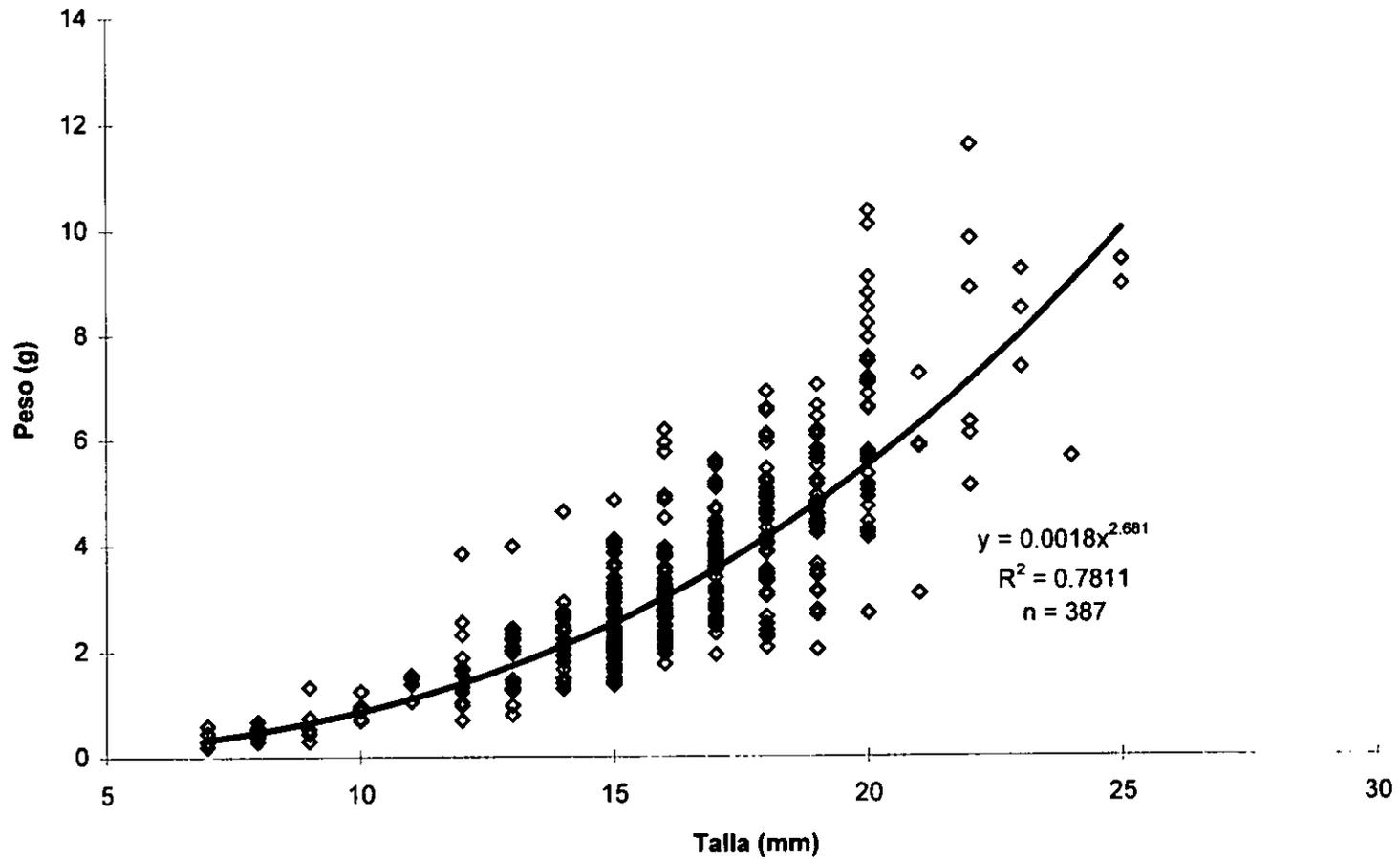
**Fig. 3. Relación peso-talla en los balanos Balanus eburneus provenientes de la estación Puente Juárez entre octubre de 1995 y agosto de 1996.**

### Balanus eburneus



**Fig. 4. Relación peso-talla en los balanos Balanus eburneus provenientes de la estación Muelle Bonfil entre octubre de 1995 y agosto de 1996.**

**Megabalanus coccopoma**



**Fig. 5. Relación peso-talla en los balanos Megabalanus coccopoma provenientes de la estación La Puntilla entre octubre de 1995 y agosto de 1996.**

Para el caso de Balanus eburneus de la estación Muelle Bonfil, se observa que la curva que mejor se ajusta a los valores obtenidos es de tipo potencial,  $y = 0.0167x^{1.7542}$  ( $r = 0.67$ ;  $n = 280$ ;  $p < 0.05$ ) (Fig. 4).

Los dos organismos de mayor talla alcanzaron los 23 mm de longitud y su peso varió entre 2.77 y 4.94 g. Estos organismos se recolectaron en diciembre de 1995 y enero de 1996, respectivamente. El ejemplar de menor talla alcanzó solamente 10 mm de longitud y un peso de 0.69 g durante el muestreo de diciembre de 1995.

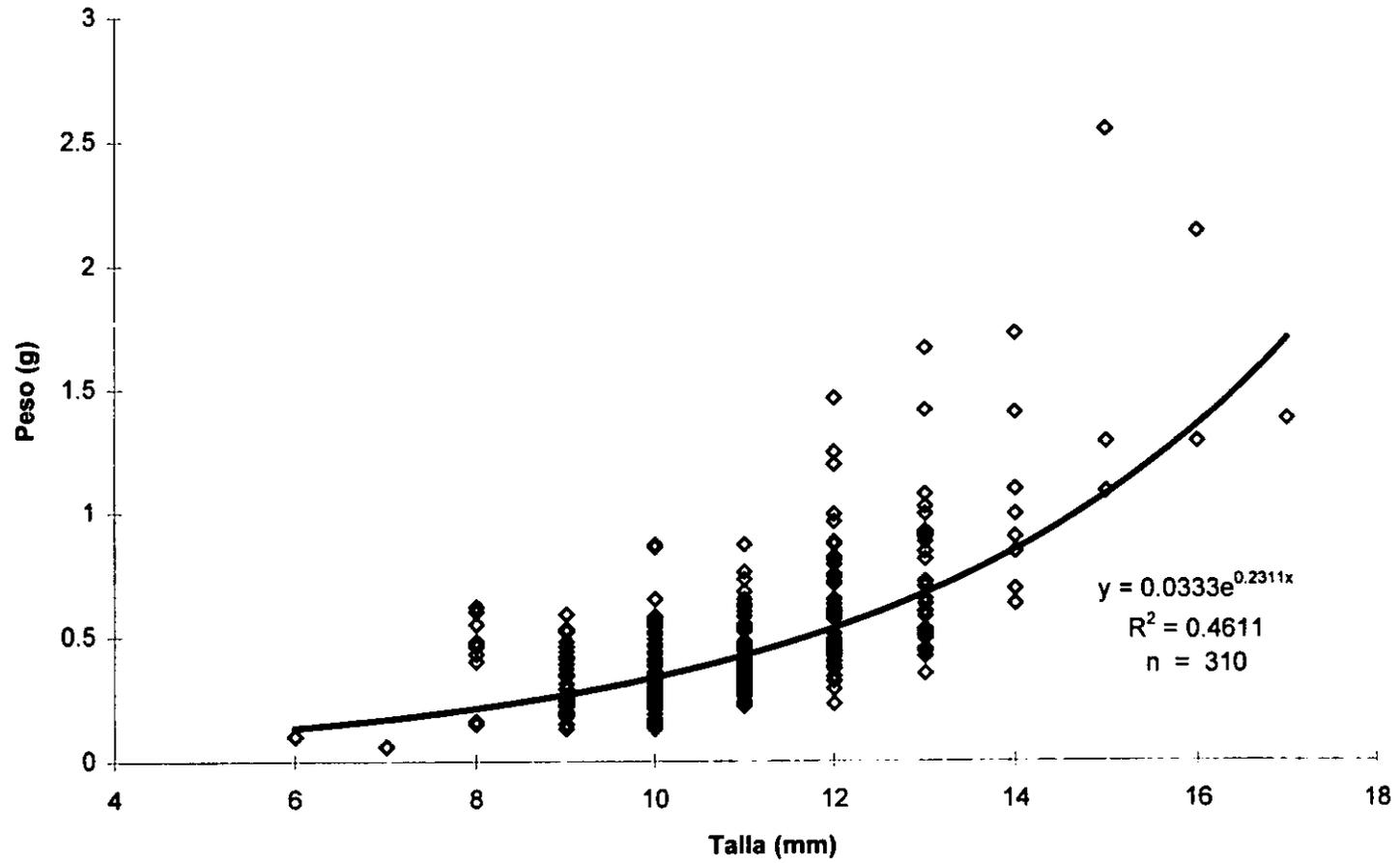
Los ejemplares de la estación Muelle Bonfil resultaron de mayor talla que los de la estación Puente Juárez, debido posiblemente a que en la estación Muelle Bonfil hay mayor disponibilidad de alimento, o simplemente condiciones fisicoquímicas más favorables como temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y materia orgánica.

#### 5.1.2 Megabalanus coccopoma

Para el caso de Megabalanus coccopoma procedente de la estación La Puntilla, la curva resultante de la relación peso-talla de los organismos es de tipo potencial (Fig. 5) y se ajusta a la ecuación  $y = 0.0018x^{2.681}$  ( $r = 0.88$ ;  $n = 387$ ;  $p < 0.05$ ).

Los organismos de mayor talla alcanzaron una longitud de 25 mm y aquellos de mayor peso 9 g durante los meses de diciembre de 1995 y julio de 1996. Los organismos de menor tamaño alcanzaron una longitud de 7 mm y un peso aproximado de 0.5 g durante el muestreo de diciembre de 1995.

### Fistulobalanus dentivarians



**Fig. 6. Relación peso-talla en los balanos Fistulobalanus dentivarians provenientes de la estación El Espigón entre octubre de 1995 y agosto de 1996.**

### 5.1.3 *Fistulobalanus dentivarians*

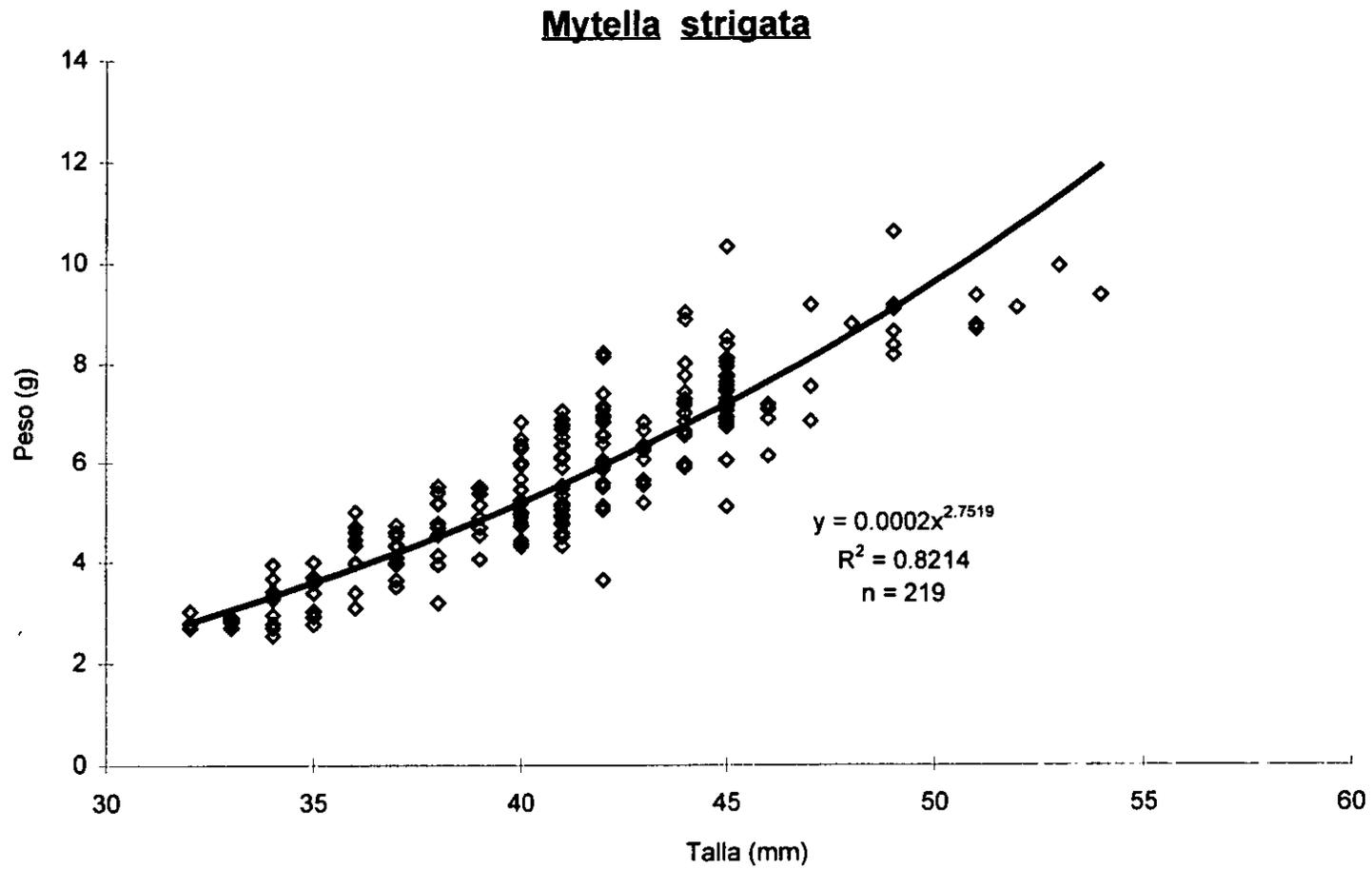
En relación a *Fistulobalanus dentivarians* de la estación El Espigón, la gráfica resultante de relacionar el peso con la talla de los organismos dá como resultado una curva de tipo exponencial, la cual se ajusta a la ecuación  $y = 0.0333e^{2311x}$  ( $r = 0.68$ ;  $n = 310$ ;  $p < 0.05$ )(Fig. 6).

Los mayores organismos recolectados alcanzaron una talla de 17 mm y un peso de 1.37 g correspondientes al muestreo de diciembre de 1995. Los organismos de menor tamaño alcanzaron solamente 6 mm de longitud y un peso de 0.15 g durante el muestreo correspondiente al mes de diciembre de 1995.

### 5.1.4 *Mytella strigata*

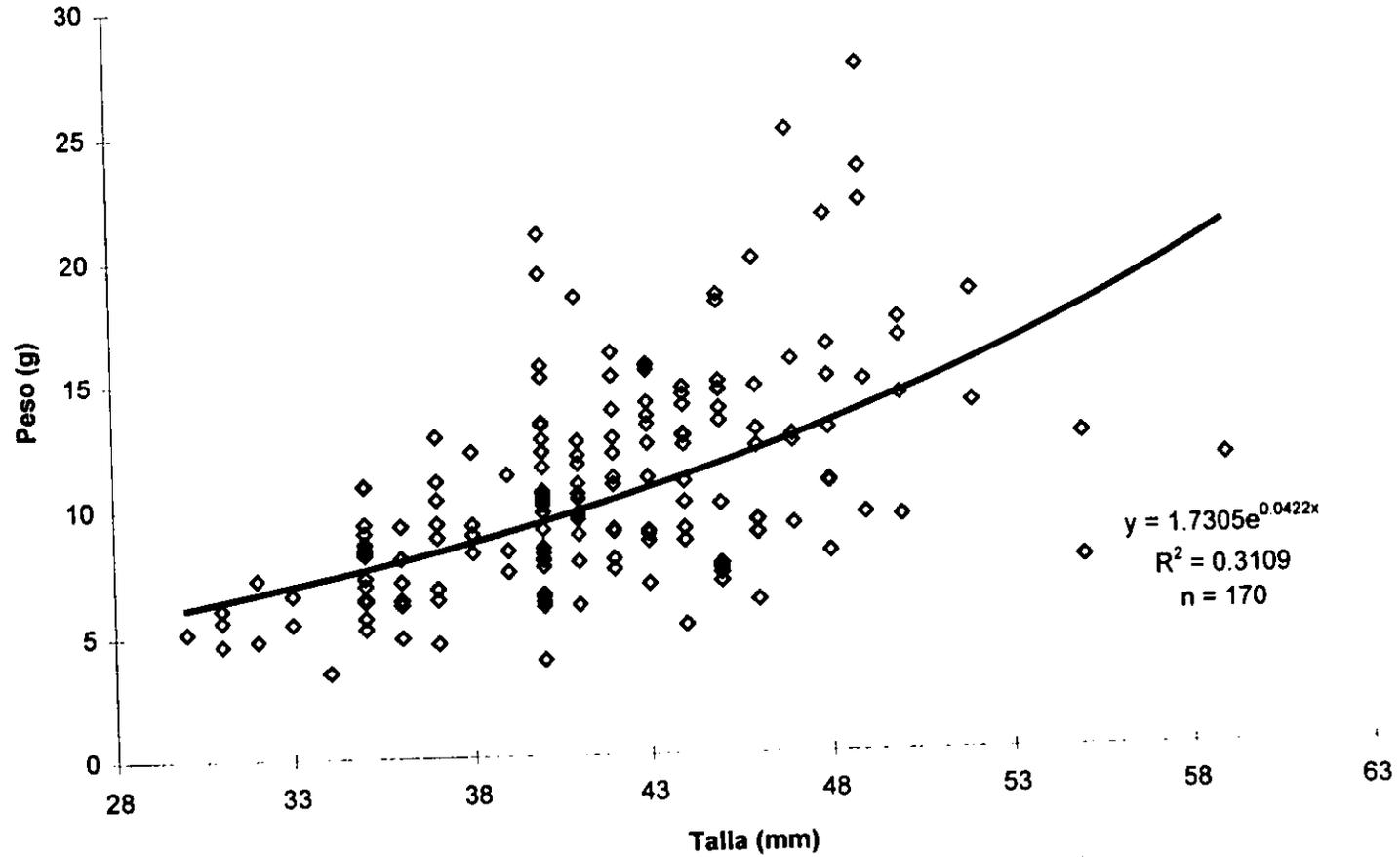
En la figura 7 se observa la curva resultante de la relación peso-talla en *Mytella strigata* proveniente de la estación El Espigón, la cual describe una función de tipo potencial y se ajusta a la ecuación  $y = .0002x^{2.7519}$  ( $r = 0.91$ ;  $n = 219$ ;  $p < 0.05$ ).

Los mayores organismos recolectados alcanzaron una talla de 54 mm y un peso de 9.34 g (julio de 1996). Los organismos menores alcanzaron una longitud de 32 mm y un peso aproximado de 3 g (enero de 1996).



**Fig. 7. Relación peso-talla en el mejillón Mytella strigata proveniente de la estación El Espigón entre octubre de 1995 y agosto de 1996.**

**Crassostrea corteziensis**



**Fig. 8. Relación peso-talla en el ostión Crassostrea corteziensis proveniente de la estación El Espigón entre octubre de 1995 y agosto de 1996.**

### 5.1.5 Crassostrea corteziensis

En la figura 8 se presenta la gráfica resultante de la relación peso-talla en el ostión Crassostrea corteziensis proveniente de la estación El Espigón. La curva que mejor se ajusta a los puntos es de tipo exponencial y su ecuación esta dada por  $y = 1.7305e^{-0.422x}$  ( $r = 0.56$ ;  $n = 170$ ;  $p < 0.05$ ). La escasa relación entre estas dos variables es lógica si se tiene en consideración que los ostiones tienen crecimiento irregular, especialmente cuando están muy próximos entre sí, o incluso unos sobre otros, lo que propicia que haya individuos muy comprimidos dorsoventralmente. Esto trae como consecuencia que organismos de igual talla tengan pesos tan diferentes.

Los mayores organismos alcanzaron una longitud de 57 mm y un peso de 11.45 g durante julio de 1996. Los organismos menores midieron 30 mm de longitud y pesaron 5.18 g durante el muestreo de enero de 1996.

Tabla 4. Concentración de metales pesados en los tejidos duros de los balanos recolectados en 4 sitios ubicados en el Puerto de Mazatlán (concentración media de metales en  $\mu\text{g g}^{-1} \pm$  desviación estándar).

Puente Juárez	Oct-95	<u>B. eburneus</u>	0.91 ± 0.21	-	-	259 ± 11.8	293 ± 267	15.2 ± 0.0005	33.8 ± 0.42
La Puntilla	Dic-95	<u>M. coccopoma</u>	1.94 ± 0.2	-	-	58.4 ± 0.23	73.2 ± 1.82	13.3 ± 5.49	15.4 ± 3.45
El Espigón	Dic-95	<u>F. dentivarians</u>	1.18 ± 0.1	-	0.68 ± 0.01	49.3 ± 4.04	457 ± 60.3	10.5 ± 1.56	11.9 ± 0.13
Muelle Bonfil	Dic-95	<u>B. eburneus</u>	1.26 ± 0.34	1.05 ± 0.61	-	257 ± 2.8	263 ± 18.4	11.3 ± 6.87	63.4 ± 3.81
Puente Juárez	Dic-95	<u>B. eburneus</u>	0.92 ± 0.13	-	0.83 ± 0.43	197 ± 23.3	434 ± 5.53	-	27.4 ± 0.74
El Espigón	Ene-96	<u>F. dentivarians</u>	0.8 ± 0.23	-	-	52.6 ± 3.84	163 ± 16.2	-	14.5 ± 0.9
La Puntilla	Ene-96	<u>M. coccopoma</u>	1.37 ± 0.48	-	-	58.2 ± 10.3	64.8 ± 10.3	-	28.6 ± 2.94
Muelle Bonfil	Ene-96	<u>B. eburneus</u>	1.26 ± 0.05	-	0.67 ± 0.0005	87.1 ± 1.36	235 ± 0.19	18.1 ± 6.86	30.3 ± 0.26
Puente Juárez	Ene-96	<u>B. eburneus</u>	1.03 ± 0.02	-	1.13 ± 0.22	128 ± 6.41	383 ± 66.8	20.1 ± 1.37	19.4 ± 0.26
La Puntilla	Mar-96	<u>M. coccopoma</u>	1.61 ± 0.25	-	-	44.4 ± 1.79	46 ± 1.94	-	20.6 ± 0.74
Muelle Bonfil	Mar-96	<u>B. eburneus</u>	1.12 ± 0.06	0.95 ± 0.08	0.99 ± 0.66	131 ± 8.04	342 ± 32.8	19.2 ± 0.13	27.7 ± 0.39
El Espigón	Mar-96	<u>F. dentivarians</u>	0.99 ± 0.1	-	-	58.1 ± 1.74	344 ± 61.1	12.3 ± 4.13	11.2 ± 0.16
Puente Juárez	Mar-96	<u>B. eburneus</u>	1.05 ± 0.02	-	1.52 ± 0.11	112 ± 3.4	340 ± 66.4	21.1 ± 5.47	15.9 ± 0.47
La Puntilla	Abr-96	<u>M. coccopoma</u>	1.57 ± 0.03	-	0.9 ± 0.32	55.7 ± 0.65	4742 ± 30.8	12.3 ± 1.36	25.9 ± 1.09
Muelle Bonfil	Abr-96	<u>B. eburneus</u>	0.80 ± 0.08	-	-	40.4 ± 10.1	168 ± 5.49	-	18.4 ± 0.86
El Espigón	Abr-96	<u>F. dentivarians</u>	0.46 ± 0.25	-	-	51.8 ± 2.71	258 ± 16	6.18 ± 3.13	10.4 ± 0.26
Puente Juárez	Abr-96	<u>B. eburneus</u>	0.63 ± 0.25	-	-	140 ± 8.94	162 ± 1.24	19.1 ± 9.63	12.8 ± 0.78
La Puntilla	May-96	<u>M. coccopoma</u>	1.62 ± 0.1	-	-	49.5 ± 0.89	51.7 ± 0.5	-	21.7 ± 0.58
El Espigón	May-96	<u>F. dentivarians</u>	0.96 ± 0.11	-	-	60.4 ± 1.28	299 ± 13.2	7.75 ± 2.8	11 ± 0.23
Puente Juárez	Jun-96	<u>B. eburneus</u>	1.04 ± 0.09	-	1.4 ± 0.32	109 ± 1.72	174 ± 1.75	21.6 ± 5.39	10.9 ± 0.3
Muelle Bonfil	Jun-96	<u>B. eburneus</u>	0.99 ± 0.07	0.38 ± 0.21	-	82.2 ± 6.97	186 ± 4.71	17.6 ± 2.75	-
La Puntilla	Jul-96	<u>M. coccopoma</u>	-	-	-	76.6 ± 1.94	75 ± 9.68	-	27.9 ± 1.78
Puente Juárez	Jul-96	<u>B. eburneus</u>	-	-	-	149 ± 16.6	454 ± 51.4	-	12.8 ± 0.32
Muelle Bonfil	Ago-96	<u>B. eburneus</u>	0.82 ± 0.12	-	-	124 ± 14.6	306 ± 5.48	-	-
La Puntilla	Ago-96	<u>M. coccopoma</u>	1.17 ± 0.21	-	-	61.7 ± 1.66	150 ± 10	-	-
Puente Juárez	Ago-96	<u>B. eburneus</u>	0.74 ± 0.1	-	-	164 ± 0.69	490 ± 97.3	-	11.9 ± 0.2

(-) Dato no disponible debido al tamaño insuficiente de la muestra

## 5.2 CONCENTRACIÓN DE METALES EN BALANOS.

Los valores de concentración de metales medidos en los tejidos duros de los balanos se presentan en la tabla 4. Se observa que Balanus eburneus se recolectó en mas ocasiones; esto se debió a que esta especie se encontró en dos sitios: el Puente Juárez y el Muelle Bonfil.

En la tabla 5 se presenta las concentraciones de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb, y Zn en los tejidos blandos de los balanos Balanus eburneus (de las estaciones Puente Juárez y Muelle Bonfil), Fistulobalanus dentivarians (de la estación El Espigón) y Megabalanus coccopoma (de la estación La Puntilla) en todas las fechas de muestreo.

En las tablas 6 y 7 se proporcionan los niveles de concentración de metales en los tejidos blandos del ostión y mejillón respectivamente, en todas las fechas de muestreo.

Los valores de concentración de metales en todas las tablas están dados como microgramos por gramo ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) en base al peso seco de la muestra.

### Cadmio

La concentración media anual de Cd en los tejidos blandos de los balanos fue la siguiente: en Fistulobalanus dentivarians de la estación El Espigón  $1.84 \mu\text{g g}^{-1}$ ; en Balanus eburneus  $4.36 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Muelle Bonfil y  $4.05 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Puente Juárez y en Megabalanus coccopoma de la estación La Puntilla  $25.8 \mu\text{g g}^{-1}$ . Este metal presentó una variación desde  $1.84 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación El Espigón hasta  $25.8 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación La Puntilla. Esta variación puede ser producto de dos cosas: por un lado, podría ocurrir que Megabalanus coccopoma, que es la especie que se trabajó en La Puntilla, es un mejor acumulador de este metal y por otro lado, que la estación La Puntilla presenta mayores cantidades de este metal para el año de estudio (*i. e.* 1995-1996), posiblemente como reflejo del efecto combinado de

las actividades portuarias y el régimen hidrodinámico prevaleciente. El valor más bajo de Cd corresponde a la estación El Espigón, la cual se considera como un área "limpia" por estar más alejada de los asentamientos humanos e industriales.

Las concentraciones que aquí se presentan son ligeramente superiores a las encontradas por Rainbow *et al.* (1993) en aguas moderadamente contaminadas de la región costera de Xiamen en China durante septiembre de 1991. Sin embargo, Rainbow y Smith (1992) encontraron, en un estudio posterior (1989) una concentración media anual de Cd de  $30.9 \mu\text{g g}^{-1}$  en el balano Balanus amphitrite procedente de las aguas costeras contaminadas de Hong Kong, y  $4.2 \mu\text{g g}^{-1}$  de Cd en B. amphitrite del mismo sitio en 1986, lo cual indica que pueden presentarse grandes cambios temporales en la biodisponibilidad del metal, como efecto del incremento en el aporte antropogénico o quizás por cambios en la naturaleza del material suspendido del cual se alimentan estos organismos.

#### Cobre

Las concentraciones medias anuales de Cu en el tejido blando de los balanos fueron como sigue: en F. dentivarians,  $26.1 \mu\text{g g}^{-1}$ ; en B. eburneus,  $123.9 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Muelle Bonfil y  $148 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Puente Juárez, y en M. coccopoma,  $25 \mu\text{g g}^{-1}$ . Los niveles de dicho metal variaron desde  $25 \mu\text{g g}^{-1}$  para la estación El Espigón hasta  $148 \mu\text{g g}^{-1}$  para la estación Puente Juárez. Una vez más Fistulobalanus dentivarians de la estación El Espigón registró el valor más bajo y Balanus eburneus de la estación Puente Juárez alcanzó el nivel más alto, tal vez por efecto del aporte de este metal al cuerpo de agua a través de las aguas residuales y materiales urbanos e industriales de las zonas aledañas al estero del Infiernillo. La estación Muelle Bonfil, registró un valor similar al encontrado en la estación Puente Juárez, probablemente por efecto de la cercanía geográfica.

Tabla 5. Concentraciones de metales pesados ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) medidos en las muestras de tejido blando de los balanos *B. eburneus*, *F. dentivarians* y *M. coccopoma* recolectados en los 4 sitios de estudio.

Especie	Fecha	Sitio de recolección	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Ag	Pb	Zn
<i>B. eburneus</i>	26-oct-95	Puente Juárez	10.7	621	2.75	-	48.6	15.4	-	26	-
<i>M. coccopoma</i>	6-dic-95	La Puntilla	17.4	24.4	1.8	355	31.3	8.61	6.66	13.5	1722
<i>F. dentivarians</i>	6-dic-95	El Espigón	1.81	25.8	-	-	43.5	10.6	-	-	1894
<i>B. eburneus</i>	6-dic-95	Muelle Bonfil	4.36	243	2.47	-	17.9	13.7	-	13.2	13519
<i>B. eburneus</i>	13-dic-95	Puente Juárez	8.47	227	12.9	-	44.7	12.4	-	852	2049
<i>F. dentivarians</i>	17-ene-96	El Espigón	1.42	21.5	1.36	-	39.3	10.5	-	-	1846
<i>M. coccopoma</i>	17-ene-96	La Puntilla	42.1	29.7	2.38	267	39.5	10.4	0.92	26.4	2000
<i>B. eburneus</i>	17-ene-96	Muelle Bonfil	4.86	193	5.45	-	47.8	16.7	-	19	112121
<i>B. eburneus</i>	21-ene-96	Puente Juárez	3.2	-	-	-	-	5.24	-	15.1	-
<i>M. coccopoma</i>	4-mar-96	La Puntilla	23.6	20	2.95	2000	79.9	6.72	6.16	6.04	1288
<i>B. eburneus</i>	4-mar-96	Muelle Bonfil	10.1	63.2	1.64	-	23.6	2.61	7.5	7.92	10083
<i>F. dentivarians</i>	4-mar-96	El Espigón	2.07	30.1	3.3	-	-	-	13.5	17.7	1488
<i>B. eburneus</i>	7-mar-96	Puente Juárez	1.84	34.3	5.1	-	38.9	7	2	15.7	6091
<i>M. coccopoma</i>	16-abr-96	La Puntilla	22.5	28.7	3.22	507	50.9	4.95	0.85	5.12	798
<i>F. dentivarians</i>	16-abr-96	El Espigón	2.07	27	3.82	-	28.1	-	24.9	13.4	1474
<i>B. eburneus</i>	18-abr-96	Puente Juárez	1.8	20.8	-	-	-	-	-	18.5	3518
<i>M. coccopoma</i>	21-may-96	La Puntilla	19	22.6	0.24	-	-	6.48	5.83	5.1	1532
<i>B. eburneus</i>	4-jun-96	Puente Juárez	-	39.8	1.25	-	-	-	12.1	9.74	-
<i>B. eburneus</i>	5-jun-96	Muelle Bonfil	1.3	38.4	0.06	34.8	6.54	3.07	0.62	6.57	3546
<i>M. coccopoma</i>	15-jul-96	La Puntilla	30.2	19.9	2.59	307	71.9	7.75	4.37	11.2	2265
<i>B. eburneus</i>	18-jul-96	Puente Juárez	1.18	35	2.15	-	49.5	5.96	2.91	8.2	5207
<i>B. eburneus</i>	28-ago-96	Muelle Bonfil	1.2	82.2	2.12	496	44.4	6.13	3.5	15.5	10867
<i>M. coccopoma</i>	28-ago-96	La Puntilla	25.8	29.9	2.17	294	36.8	8.79	-	17.2	3334
<i>B. eburneus</i>	30-ago-96	Puente Juárez	1.2	59.1	4.06	1012	83.3	4.5	2.22	10.4	11078

(-) NO DISPONIBLE

FALTA PAGINA

No. 45

En latitudes tropicales Rainbow y Smith (1992) encontraron concentraciones de Cu hasta de  $4865 \mu\text{g g}^{-1}$  en el balano Balanus amphitrite procedente de las aguas contaminadas de la costa de Hong Kong. Por otro lado, Rainbow *et al.* (1993) encontraron valores hasta de  $182 \mu\text{g g}^{-1}$  de Cu en el balano Balanus amphitrite recolectado en las aguas contaminadas de las costas de China durante septiembre de 1991.

## Cromo

En el caso del Cr las concentraciones medias anuales en el tejido blando fueron: en F. dentivarians,  $2.82 \mu\text{g g}^{-1}$ ; en B. eburneus  $2.34 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Muelle Bonfil y  $4.7 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Puente Juárez y en M. coccopoma  $2.19 \mu\text{g g}^{-1}$ . El nivel más alto de Cr se detectó en la estación Puente Juárez, donde las actividades mas comunes son tránsito de embarcaciones menores, comercialización de productos pesqueros y generación de desechos domésticos.

Rainbow *et al.*, (1993) encontraron en Tetraclita squamosa de las aguas de China, concentraciones máximas de Cr de  $18.2 \mu\text{g g}^{-1}$ , lo cual es un valor del mismo orden que el encontrado en aguas del puerto de Mazatlán. Sin embargo, Rainbow y Smith (1992) tuvieron niveles de concentración de Cr de  $56.3 \mu\text{g g}^{-1}$  y  $28 \mu\text{g g}^{-1}$  en abril de 1989 y abril de 1986 respectivamente, en el balano Balanus amphitrite de las aguas costeras contaminadas de Hong Kong.

## Hierro

Las concentraciones medias anuales de Fe en los tejidos blandos fueron: en B. eburneus,  $265.4 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Muelle Bonfil y  $1013 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Puente Juárez; en M. coccopoma  $622 \mu\text{g g}^{-1}$  y en F. dentivarians no hay valores de concentración disponibles. Al comparar el valor mínimo con el

máximo nos dá una diferencia de  $482 \mu\text{g g}^{-1}$  (lo que indica que la concentración varió hasta 2 veces respecto al valor mínimo).

Llama la atención el hecho de que dos estaciones tan cercanas como son Muelle Bonfil y Puente Juárez presenten resultados tan diferentes. Ello se puede deber a que este metal se presenta en niveles biodisponibles más elevados en las aguas provenientes del Estero del Infiernillo, posiblemente como consecuencia de las actividades relacionadas con el pulido de los cascos de las embarcaciones.

### Manganeso

Para el caso del Mn las concentraciones medias anuales en los tejidos blandos fueron como sigue: en F. dentivarians,  $37 \mu\text{g g}^{-1}$ ; en B. eburneus,  $28 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Muelle Bonfil y  $53 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Puente Juárez y en M. coccopoma  $51.7 \mu\text{g g}^{-1}$ .

Los niveles fluctuaron entre  $28.0 \mu\text{g g}^{-1}$  en el balano Balanus eburneus de la estación Muelle Bonfil hasta  $53 \mu\text{g g}^{-1}$  en la misma especie de la estación Puente Juárez. Esto muestra una variación de  $25 \mu\text{g g}^{-1}$ , es decir casi el doble de la concentración mas baja. Nuevamente, las estaciones Muelle Bonfil y Puente Juárez presentan valores diferentes aún cuando se utilizó la misma especie para trabajar (B. eburneus). Estas diferencias bien pueden atribuirse a un aporte antropogénico importante en los alrededores del estero del Infiernillo como aguas residuales y aguas dulces, el cual se refleja en el Puente Juárez.

### Níquel

La concentración media anual de Ni en el tejido blando de los balanos fue como sigue: en F. dentivarians,  $10.5 \mu\text{g g}^{-1}$ ; en B. eburneus,  $8.45 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Muelle Bonfil y  $8.4 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Puente Juárez y en M. coccopoma  $7.67 \mu\text{g g}^{-1}$ .

La variación fue desde  $7.67 \mu\text{g g}^{-1}$  para Megabalanus coccopoma en la estación La Puntilla hasta  $10.5 \mu\text{g g}^{-1}$  para Fistulobalanus dentivarians en la estación El Espigón.

En aguas costeras moderadamente contaminadas de Hong Kong, Rainbow y Smith (1992) encontraron niveles de concentración de Ni del orden de  $19.2 \mu\text{g g}^{-1}$  en el balano Tetraclita squamosa durante abril de 1989, mientras que, en el balano Balanus uliginosus de las aguas costeras poco contaminadas de China, Rainbow *et al.*(1993) encontraron una concentración de  $3.17 \mu\text{g g}^{-1}$  de Ni.

Tomando en cuenta que los principales aportes de Ni a la zona costera marina son los provenientes de la industria del papel y celulosa, fertilizantes, refinerías de petróleo y el acero (Páez-Osuna, 1996), se puede deducir que las aguas de las localidades estudiadas presentan niveles normales de este metal.

## Plata

En lo que respecta a la Ag, las concentraciones medias durante el ciclo de muestreo en los tejidos blandos de los balanos fueron las siguientes: en E. dentivarians,  $19.2 \mu\text{g g}^{-1}$ ; en B. eburneus,  $3.87 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Muelle Bonfil y  $4.8 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Puente Juárez y en M. coccopoma  $4.13 \mu\text{g g}^{-1}$ . Las concentraciones variaron entre  $3.87 \mu\text{g g}^{-1}$  para Balanus eburneus de la estación Muelle Bonfil hasta  $19.2 \mu\text{g g}^{-1}$  para Fistulobalanus dentivarians de la estación El Espigón. Esto significa una variación de  $15.3 \mu\text{g g}^{-1}$ , es decir, hasta 4 veces respecto a la concentración mas baja.

En estudios realizados en otros sitios, las concentraciones de Ag fueron menores: Chan *et al.*(1986) encontraron niveles de concentración de Ag del orden de los  $3.3 \mu\text{g g}^{-1}$  en el balano Balanus amphitrite que habita en las aguas costeras moderadamente contaminadas de Hong Kong durante abril de 1986. Rainbow y Smith (1992) cuantificaron hasta  $3.8 \mu\text{g g}^{-1}$  de Ag en el balano Balanus amphitrite recolectado en aguas

costeras contaminadas de Hong Kong, durante abril de 1989. Rainbow *et al.*(1993), cuantificaron hasta  $4.3 \mu\text{g g}^{-1}$  de plata en las costas de China.

En el material de referencia MA-A-3/TM de la Agencia Internacional de Energía Atómica no se incluye a la Ag, por lo que no es posible conocer con exactitud su concentración en las muestras, y ello no permite ser categórico.

### Plomo

La concentración media anual de Pb en los tejidos blandos de los balanos fue : en F. dentivarians,  $15.5 \mu\text{g g}^{-1}$  ; en B. eburneus  $12.4 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Muelle Bonfil y  $119.4 \mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Puente Juárez y en M. coccopoma  $12.1 \mu\text{g g}^{-1}$ . Las concentraciones variaron desde  $12.1 \mu\text{g g}^{-1}$  para Megabalanus coccopoma en la estación La Puntilla hasta  $119.4 \mu\text{g g}^{-1}$  para Balanus eburneus en la estación Puente Juárez; lo cual nos da una variación de  $107.3 \mu\text{g g}^{-1}$ . Nuevamente, la estación Puente Juárez presenta la media mas alta de concentración ( $119.4 \mu\text{g g}^{-1}$ ), contrastando con los valores bajos en la estación Muelle Bonfil, la cual esta bastante cercana y en cuyos alrededores existe una marcada actividad portuaria. Evidentemente, este nivel tan elevado refleja una situación de contaminación por Pb en las aguas que provienen del Estero del Infiernillo.

En las aguas costeras contaminadas de Hong Kong, Chan *et al.* (1986), encontraron hasta  $39.2 \mu\text{g g}^{-1}$  de Pb en el balano Balanus amphitrite recolectado en sitios que exhiben una alta biodisponibilidad de este metal mientras que Rainbow y Smith (1992), encontraron niveles de Pb del orden de los  $116 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del balano de la misma especie procedente de las aguas costeras contaminadas de Hong Kong. En las aguas costeras de una región de China con bajos niveles de contaminación, Rainbow *et al.*(1993) encontraron un valor de concentración máximo de Pb de  $8.57 \mu\text{g g}^{-1}$  en el balano Balanus uliginosus. En el material de referencia MA-A-3/TM de la Agencia

Internacional de Energía Atómica tampoco se incluye el análisis de Pb, por lo que hay que tomar con precaución estas comparaciones.

## Zinc

Los niveles medios de Zn durante el año en los tejidos blandos de los balanos fueron como sigue: en E. dentivarians, 1675  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; en B. eburneus, 30027  $\mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Muelle Bonfil y 5589  $\mu\text{g g}^{-1}$  en la estación Puente Juárez y en M. coccopoma 1848  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Las concentraciones medias de Zn variaron desde 1675  $\mu\text{g g}^{-1}$  para Fistulobalanus dentivarians en la estación El Espigón hasta 30027  $\mu\text{g g}^{-1}$  para Balanus eburneus en la estación Muelle Bonfil; esto nos da una variación de 28352  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Para el caso de Balanus eburneus de las estaciones Muelle Bonfil y Puente Juárez la diferencia también es acentuada, aproximadamente 5 veces mayor en el Muelle Bonfil con respecto al Puente Juárez, aun cuando estén muy cercanas una de otra.

En las aguas costeras contaminadas de China, Chan *et al.*(1986) encontraron un nivel máximo de concentración de Zn de 19890  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del balano Capitulum mitella. Por otro lado, Rainbow y Smith (1992) calcularon una concentración de Zn de 15940  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del balano Balanus amphitrite recolectado en las aguas de las costas de Hong Kong con alta biodisponibilidad de Zn. Rainbow *et al.*(1993), analizaron los tejidos blandos del balano Balanus amphitrite procedente de las aguas no contaminadas de China, encontrando concentraciones de Zn del orden de los 6965  $\mu\text{g g}^{-1}$ . En trabajos de laboratorio, Rainbow (1985) concluyó que el balano Elminius modestus Darwin presentó una acumulación neta de Zn, sin existir evidencias de regulación de las concentraciones de otros metales en su cuerpo, lo que quizás pueda explicar las altas concentraciones para este metal en particular. Por otro lado, el resultado del análisis de Zn en el material de referencia, fue mayor en un 34% que la concentración establecida por la IAEA.

### 5.3 CONCENTRACIONES MEDIAS DE METALES EN BALANOS Y MOLUSCOS BIVALVOS.

En la tabla 8 se presentan las concentraciones medias anuales (en  $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb y Zn en los tejidos blando y duro de Fistulobalanus dentivarians, Balanus eburneus y Megabalanus coccopoma. En el caso de B. eburneus los valores corresponden a la media entre las estaciones Muelle Bonfil y Puente Juárez.

El Cd presenta su valor más alto ( $25.8 \mu\text{g g}^{-1}$ ) en el tejido blando de Megabalanus coccopoma, lo cual contrasta con una concentración baja en el respectivo tejido duro del orden de  $1.52 \mu\text{g g}^{-1}$ .

El Cu alcanzó una concentración de  $135.9 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido suave de Balanus eburneus, no pudiendo compararse con los valores en los respectivos tejidos duros por no disponer de la información.

Los valores de concentración de Cr indican que el valor más alto fue de  $3.52 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando de Balanus eburneus, nuevamente se carece de los valores para los respectivos tejidos duros por lo que no es posible hacer comparaciones.

Tabla 8. Concentraciones medias (en  $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb y Zn en los tejidos blando y duro de Fistulobalanus dentivarians, Balanus eburneus y Megabalanus coccopoma.

Metal	<u>F. dentivarians</u>		<u>B. eburneus</u>		<u>M. coccopoma</u>	
	Tejido blando	Tejido duro	Tejido blando	Tejido duro	Tejido blando	Tejido duro
Cd	1.84 ± 0.26	0.88 ± 0.24	4.2 ± 0.15	0.98 ± 0.19	25.8 ± 7.72	1.52 ± 0.22
Cu	26.1 ± 3.07	N.D.	135.9 ± 12	N.D.	25 ± 3.9	N.D.
Cr	2.82 ± 1.05	N.D.	3.52 ± 1.18	N.D.	2.19 ± 0.9	N.D.
Fe	N.D.	54.4 ± 4.1	639 ± 373	153 ± 63	622 ± 621	57.8 ± 9
Mn	37 ± 7.9	304 ± 97	40.3 ± 8.5	293 ± 115	51.7 ± 18.2	743 ± 1632
Ni	10.5 ± 2.09	N.D.	8.4 ± 0.02	N.D.	7.67 ± 1.7	N.D.
Ag	19.2 ± 5.74	N.D.	4.33 ± 0.46	N.D.	4.13 ± 2.3	N.D.
Pb	15.5 ± 2.16	9.20 ± 2.4	65.9 ± 53.5	14.2 ± 6.6	12.1 ± 7.23	7.88 ± 4.8
Zn	1675 ± 195	11.8 ± 1.4	17808 ± 12219	22.3 ± 13	1848 ± 750	23.4 ± 4.6

N.D = no disponible

Para el caso del Fe el valor máximo se presentó en el tejido blando del balano Balanus eburneus con  $639 \mu\text{g g}^{-1}$ , para esta misma especie la concentración medida en el tejido duro es de  $153 \mu\text{g g}^{-1}$ . Esto probablemente se debe a la distinta naturaleza de los tejidos de manera que su metabolismo sea el que determine tales diferencias.

Las concentraciones de Mn presentan un valor máximo de  $743 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido duro de Megabalanus coccopoma.

Este es el único metal donde la concentración fue mayor en el tejido duro que en el tejido blando, lo cual indica que este metal está formando parte de la calcita en el tejido duro. En este sentido Foster y Chacko (1995) mencionan que la mineralización de carbonatos esqueléticos involucra la depositación de carbonato de calcio en forma de calcita y/o aragonita. El Ca, con un radio iónico de 0.99 nm, es de tal dimensión que en coordinación con el ión carbonato puede dar lugar a dos formas, las cuales incluyen a la calcita con los iones carbonato en coordinación hexagonal y la aragonita con los iones carbonato en coordinación ortorómbica. Otros iones metálicos con radio iónico menores que el del Ca (Mg, Fe, Cu, Zn, Mn) siempre forman carbonatos hexagonales, mientras que elementos con radio iónico mayor al del Ca (Sr, Pb) siempre forman carbonatos ortorómbicos. Así, el Mg y los elementos con pequeños radios iónicos preferentemente se acumulan en la calcita; mientras que el Sr y otros metales pesados con mayor radio iónico preferentemente se acumulan en la aragonita.

Watson *et al.*(1995) mencionan que los mecanismos mediante los cuales la cubierta calcárea de los balanos lleva a cabo la incorporación de metales pesados es por el reemplazo del calcio en el carbonato de calcio.

En relación con el Ni y la Ag, la concentración más elevada se presentó en el tejido blando de Fistulobalanus dentivarians; no hay datos disponibles en los tejidos duros para hacer una comparación.

Los valores de Pb muestran una concentración máxima de 65.9  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido suave de Balanus eburneus. En esta misma especie se presentó la concentración más elevada para los tejidos duros (14.2  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) existiendo una variación de casi 4 veces con respecto al valor más alto en el tejido blando.

Por último, la concentración media más elevada de Zn se presentó en el tejido suave de Balanus eburneus con  $17808 \mu\text{g g}^{-1}$ ; la concentración mas baja se dio en el tejido duro de Fistulobalanus dentivarians, alcanzando solo  $11.8 \mu\text{g g}^{-1}$ . Al parecer, la presencia de una matriz rica en carbonatos influye mucho en la cuantificación del Zn de los tejidos duros. Watson *et al.* (1995), al trabajar con Semibalanus balanoides de las aguas costeras de Anglesey en Gales (Reino Unido), concluyeron que el tejido duro de este balano es inadecuado como material de biomonitoreo debido, principalmente, a que existe una gran variabilidad intrapoblacional en las concentraciones de metales en la concha y a los cambios rápidos que podrían presentarse en las concentraciones de metales pesados en épocas de crecimiento acelerado de las conchas.

Resumiendo lo anterior, se observa que solamente para el caso del Mn el tejido duro de los balanos acumula mayor cantidad del metal que el tejido suave. En el caso de los otros 8 metales, los tejidos blandos siempre presentaron valores mayores que los tejidos duros.

Peña y Fowler (1972) mencionan que el Mn iónico es absorbido directamente del medio marino a través de las branquias de la langosta del género Homarus y se distribuye en un 98% en la parte calcificada del exoesqueleto (Bryan y Ward, 1965), por lo que se cree que puede sustituir al Ca en la calcita (Wangersky, 1961).

El balance de la comparación en tejidos blandos por especies muestra que 5 de los 9 metales analizados (Cu, Cr, Fe, Pb y Zn) fueron detectados en concentraciones más elevadas en Balanus eburneus; 2 de los 9 metales (Cd y Mn) en Megabalanus coccopoma y otros 2 (Ni y Ag) en Fistulobalanus dentivarians (Tabla 8). Posiblemente las concentraciones de metales en Balanus eburneus fueron mayores que en las demás especies por

el hecho de estar presente en dos de las cuatro estaciones, las cuales están sujetas a un mayor impacto.

Por otro lado, Fistulobalanus dentivarians alcanzó el menor porcentaje de metales por la razón opuesta, ya que está presente en la zona mas alejada de los asentamientos humanos y las actividades industriales.

En la tabla 9, se muestran las concentraciones medias anuales de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb y Zn en los tejidos blandos del balano Fistulobalanus dentivarians, el ostión de mangle Crassostrea corteziensis y el mejillón Mytella strigata. Los tres organismos fueron recolectados en la estación El Espigón, que es el único sitio donde se encuentran presentes las tres especies mencionadas.

Tabla 9. Concentraciones medias (en  $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb y Zn en los tejidos blandos del balano Fistulobalanus dentivarians, del ostión Crassostrea corteziensis y del mejillón Mytella strigata en la estación El Espigón.

<i>Metal</i>	<u>E. dentivarians</u>	<u>C. corteziensis</u>	<u>M. strigata</u>
Cd	1.84 ± 0.26	1.18 ± 0.25	0.72 ± 0.09
Cu	26.1 ± 3.07	323 ± 439	76.2 ± 61
Cr	2.82 ± 1.05	3.80 ± 6.4	1.03 ± 0.49
Fe	N.D.	106 ± 116	306 ± 209
Mn	37 ± 7.9	32.3 ± 11	54 ± 36
Ni	10.5 ± 2.09	6.65 ± 3.4	13.9 ± 3.3
Ag	19.2 ± 5.74	26.7 ± 16.7	19.1 ± 21.4
Pb	15.5 ± 2.16	5.97 ± 7.3	5.61 ± 4.1
Zn	1675 ± 195	1316 ± 689	69.4 ± 13

N.D. no disponible

Para el caso del Cd, el Pb y el Zn, las concentraciones medias más elevadas se encontraron en el balano. El ostión de mangle presentó las concentraciones más elevadas de Cu, Cr y Ag. En el caso del mejillón las concentraciones más elevadas fueron las correspondientes al Fe, el Mn y el Ni.

Esto indica que en los tres organismos se detectaron niveles altos en un tercio de los metales analizados.

El balance anterior permite considerar al balano como buen acumulador de Cd, Pb y Zn; al ostión como buen acumulador de Cu, Cr y Ag, y al mejillón como buen acumulador de Fe, Mn y Ni. Podrían presentarse variaciones en los porcentajes proporcionados en virtud de las condiciones hidrológicas del sitio y el estado de madurez de los organismos.

Peña y Fowler (1972) calcularon las siguientes concentraciones en Ostrea corteziensis del golfo de California: Cu (491), Cr (87.2), Mn (399), Ni (163.4) y Zn (7353); estos valores están dados en ppm (base ceniza). En orden decreciente de concentración los metales quedaron ordenados de la siguiente manera: Zn>Cu>Mn>Ni>Cr. En otro estudio, Phillips y Rainbow (1988), al comparar concentraciones de 5 metales entre balanos y mejillones de las costas de Hong Kong encontraron el siguiente orden de concentración: balano Balanus amphitrite Zn>Cu>Pb>Cr>Cd; mejillón Perna viridis Cu>Zn>Pb>Cr>Cd. El orden de concentración de esos mismos metales en el ostión, mejillón y balano de la zona del puerto de Mazatlán muestra el siguiente patrón: ostión Crassostrea corteziensis, Zn>Cu>Pb>Cr>Cd; mejillón Mytella strigata, Cu>Zn>Pb>Cr>Cd; balano Fistulobalanus dentivarians Zn>Cu>Pb>Cr>Cd. Se observa que siguen el mismo orden de concentración para la mayoría de los metales considerados, aún cuando los organismos que se comparan provienen de diferentes sitios y fueron recolectados en fechas muy distintas. Esto podría ser un indicio

favorable de la potencialidad de los tres tipos de organismos para ser utilizados como bioacumuladores de los metales en sus tejidos blandos.

En la tabla 10 se proporcionan las concentraciones medias de cada metal en el tejido blando de los balanos por sitio de muestreo. En la estación El Espigón se omiten las concentraciones correspondientes a los ostiones y mejillones. La estación Puente Juárez fue el sitio donde se encontraron concentraciones más altas para un mayor número de metales.

Tabla 10. Concentraciones medias de nueve metales pesados ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) en el tejido blando de los balanos para los cuatro sitios de muestreo.

<i>Metal</i>	<i>Estación de muestreo</i>			
	<i>El Espigón</i>	<i>Muelle Bonfil</i>	<i>Puente Juárez</i>	<i>La Puntilla</i>
Cd	1.84 ± 0.26	4.36 ± 3.24	4 ± 3.6	25.8 ± 7.72
Cu	26.1 ± 3.07	124 ± 79	148 ± 204	25 ± 3.9
Cr	2.82 ± 1.05	2.35 ± 1.7	4.7 ± 3.8	2.19 ± 0.9
Fe	N.D.	265 ± 230	1012 ±	622 ± 621
Mn	37 ± 7.9	28 ± 15.7	53 ± 15.6	51.7 ± 18.2
Ni	10.5 ± 2.09	8.4 ± 5.7	8.41 ± 4	7.67 ± 1.7
Ag	19.2 ± 5.74	3.8 ± 2.8	4.80 ± 4.2	4.13 ± 2.3
Pb	15.5 ± 2.16	12.4 ± 4.6	119 ± 277	12.1 ± 7.23
Zn	1675 ± 195	30027 ± 41177	5589 ± 3077	1848 ± 750

N.D. no disponible

Los valores encontrados y su distribución indican dos cosas: por un lado, se presenta un gradiente ascendente de concentración de metales pesados a partir de la cabeza del cuerpo lagunar hacia la boca del mismo; por otro lado, se observa que los sitios más afectados corresponden a lugares donde

existe, evidentemente, actividad humana (industrial y de descarga de aguas municipales) y portuaria.

Las concentraciones de los metales para cada estación presentaron el siguiente orden decreciente: estación El Espigón (Fistulobalanus dentivarians), Zn>Mn>Cu>Ag>Pb>Ni>Cr>Cd; estación Muelle Bonfil (Balanus eburneus), Zn > Fe > Cu > Mn > Pb > Ni > Cd > Ag > Cr; estación Puente Juárez (Balanus eburneus), Zn > Fe > Cu > Pb > Mn > Ni > Ag > Cr > Cd; estación La Puntilla (Megabalanus coccopoma), Zn > Fe > Mn > Cd > Cu > Pb > Ni > Ag > Cr.

Para todas las estaciones de muestreo el Zn fue el metal que se encontró en mayores concentraciones, lo cual concuerda con lo encontrado por Chan *et al.* (1986) y Phillips y Rainbow (1988), quienes consideran a los balanos como acumuladores clásicos de altas concentraciones de Zn, Cu y posiblemente Pb.

### *5.3.1 Comparación de medias de dos especies de balanos*

Considerando que aún a nivel de especie los organismos presentan diferencias en la cinética de incorporación y en los mecanismos de desintoxicación de los diferentes metales, Phillips y Rainbow (1988) mencionan que es válido hacer comparaciones de la acumulación de metales entre especies diferentes a nivel de órdenes de magnitud, pero no es válido hacer comparaciones interespecíficas directas.

Para el caso del área de estudio, los balanos recolectados en las estaciones Muelle Bonfil y Puente Juárez corresponden a la especie Balanus eburneus, con la cual se llevaron a cabo comparaciones de las concentraciones medias del Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Ag, Pb y Zn.

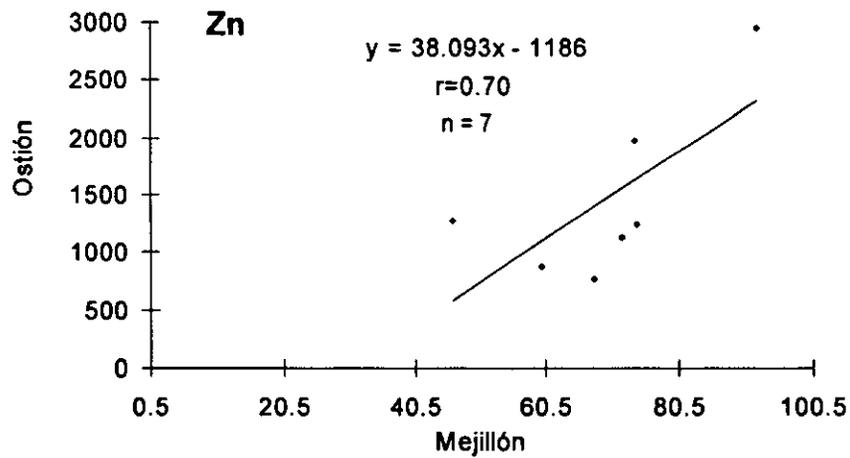
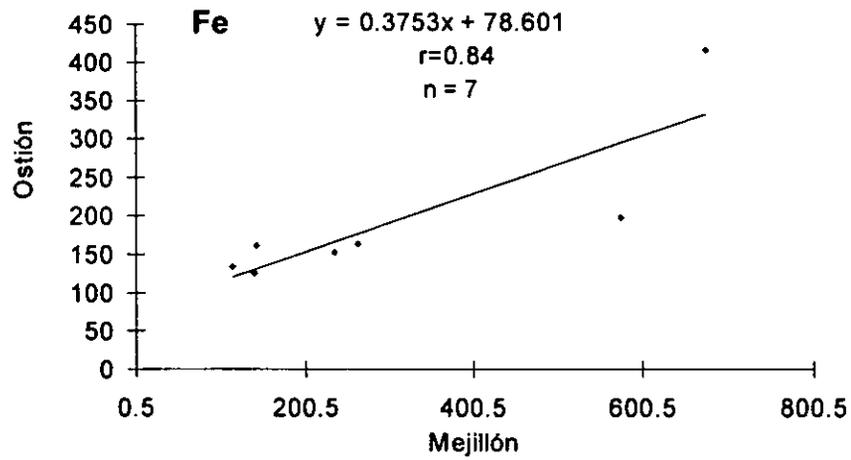
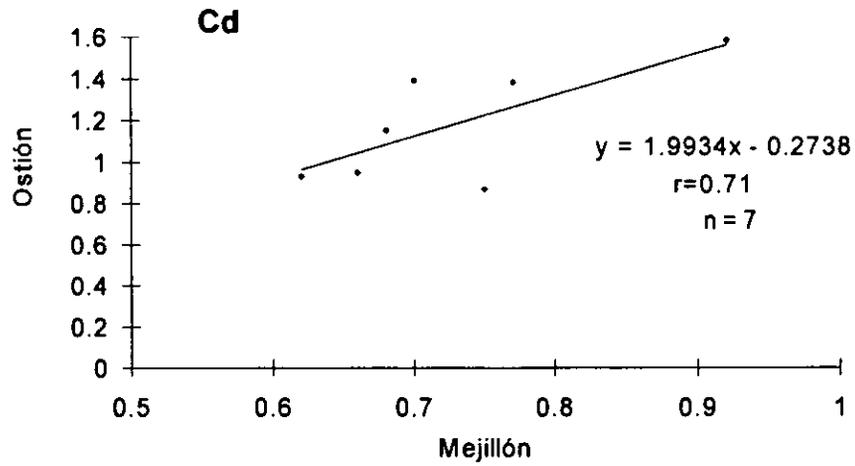


Fig. 9. Comparación de la bioacumulación de Cd, Fe y Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) en el tejido blando de *C. corteziensis* y *M. strigata* provenientes de la estación El Espigón.

Como resultado de esta comparación de metales se obtuvieron tres tipos de resultados: en 7 (Cd, Cu, Cr, Mn, Ag, Pb y Zn) de los nueve metales comparados, no hay diferencias significativas ( $\alpha = 0.05$ ) entre las concentraciones de los tejidos blandos de los balanos de ambos sitios cuando se promedian las concentraciones a lo largo del año de estudio. Probablemente, la cercanía entre las estaciones de muestreo es determinante para que esto suceda. Por el contrario, en el caso del Ni si existe una diferencia significativa ( $\alpha = 0.05$ ) entre las concentraciones de los tejidos blandos de los organismos de ambos sitios, siendo mayor en los individuos de la estación Muelle Bonfil que en los de la estación Puente Juárez.

### *5.3.2 Comparación de la bioacumulación de metales en Mytella strigata y Crassostrea corteziensis procedentes de un mismo sitio.*

En la figura 9 se observa el gráfico que relaciona las concentraciones de Cd, Fe y Zn en los tejidos blandos del ostión de mangle (Crassostrea corteziensis) y el mejillón (Mytella strigata) provenientes de la estación El Espigón.

Después de realizada la prueba de significancia para averiguar si el coeficiente de correlación observado es significativamente diferente de cero, se observó que solamente para el caso de los tres metales antes mencionados se rechazó la hipótesis nula (*i. e.* la correlación es significativamente diferente de cero), lo cual indica que las concentraciones de Cd, Fe y Zn en el ostión varían proporcionalmente con las concentraciones correspondientes en el mejillón.

Lo anterior, no obstante ser limitado el número de observaciones, refleja una correlación entre las concentraciones

detectadas en los tejidos blandos de ambos bivalvos. Por lo tanto, resulta recomendable investigar esta asociación o respuesta de los bivalvos a un mismo tipo de condiciones ambientales, esto permitiría conocer para que metales ambas especies responden de la misma manera a los cambios de concentración en el ambiente acuático. Esto tiene implicaciones importantes cuando se quieren comparar niveles de metales entre especies que no comparten un sitio determinado.

### *5.3.3 Análisis de regresión de metales y el peso seco medio individual en balanos y moluscos bivalvos.*

Las relaciones entre las concentraciones de metales y el peso seco medio individual en los balanos se presentan en la figura 10, en los mejillones en la figura 11 y en los ostiones en las figuras 12, 13 y 14. Los resultados del análisis de regresión en los diferentes metales pesados y el peso seco medio individual en balanos (Megabalanus coccopoma y Balanus eburneus) y moluscos bivalvos (Mytella strigata y Crassostrea corteziensis) se dan en la tabla 11. En ella se muestran en detalle los tipos de relación existente entre los diferentes metales y el peso seco medio individual de los organismos.

Para el caso del balano Megabalanus coccopoma (procedente de la estación La Puntilla), el único metal que está relacionado significativamente con el peso seco medio es el Fe, y la curva que mejor describe esta relación es de tipo polinomial (Fig. 10c). En esta especie se puede observar que la cantidad de Fe disminuye conforme el organismo tiene mayor peso.

Por lo que respecta al balano Balanus eburneus (procedente de la estación Puente Juárez), el Cd y el Zn fueron los dos metales relacionados significativamente con el peso seco medio. La curva que mejor describe esta relación también es de tipo polinomial (Tabla 11, Figs. 10a y 10b). Para el caso del Cd, la correlación es negativa, ya que a mayor peso seco medio de los individuos, menor concentración del metal. La situación opuesta

se presenta con el Zn, lo cual resulta lógico si se toma en cuenta que los balanos se consideran como buenos acumuladores de este elemento.

En el mejillón Mytella strigata (procedente de la estación El Espigón) se encontró una correlación significativa en tres de los nueve metales analizados (Cu, Cr y Zn), encontrando que para los tres metales la curva que mejor describe esta relación es de tipo polinomial (Tabla 11). En las figuras 11a y 11c se observa que la concentración del Cu aumenta al incrementarse el peso de los individuos mientras que el Zn se comporta de manera opuesta. Al respecto, Swaileh y Adelung (1994) mencionan que la relación entre el contenido de metal y el peso seco medio es curva, con los individuos mayores conteniendo menos Cu y Zn, por lo que hay concordancia con este trabajo para el caso del Zn.

El Cr presenta un comportamiento muy particular (Fig. 11b), pues inicialmente, la concentración aumenta con el incremento en peso para posteriormente disminuir, aunque esto último por efecto de un solo dato.

En un estudio con Mytilus edulis, Boyden (1977) encontró que para el caso del Fe, Mn, Ni, Pb y Zn las concentraciones en individuos pequeños son superiores a las encontradas en organismos de mayor tamaño. Para el caso del Cd las poblaciones examinadas indican que la concentración es independiente de la talla de los organismos.

En el ostión Crassostrea corteziensis (procedente de la estación El Espigón), se encontró correlación significativa (nivel de significancia del 5 %) en cuatro de los nueve metales analizados ( Cu, Cr, Fe y Pb), hay más de un tipo de curva para describir la relación entre los metales y el peso seco medio individual, aunque las que tuvieron un coeficiente de correlación más alto fueron del tipo polinomial para el caso del Cu, Fe y Pb; y de tipo exponencial para el caso del Cr (Tabla 11, Figs. 12, 13 y 14).

Tabla 11. Análisis de regresión de la concentración de metales pesados ( $\mu\text{g g}^{-1}$ , y) y el peso seco medio individual (mg, x) en los balanos Megabalanus coccopoma y Balanus eburneus, el mejillón Mytella strigata y el ostión Crassostrea corteziensis.

Metal	Especie	Función
Fe	<u>Megabalanus coccopoma</u>	Polinomial $R^2= 0.626$ , $y=7.2183x^2 - 719.41x + 18066$
Cd	<u>Balanus eburneus</u>	Polinomial $R^2=0.575$ , $y=0.005x^2 - 0.4231x + 9.1665$
Zn	<u>Balanus eburneus</u>	Polinomial $R^2= 0.67$ , $y = -11.618x^2 + 905.38x - 6928.3$
Cu	<u>Mytella strigata</u>	Polinomial $R^2= 0.613$ , $y = 0.0031x^2 - 0.9202x + 108.02$
Cr	<u>Mytella strigata</u>	Polinomial $R^2= 0.559$ , $y = 0.00006x^2 + 0.0264x - 1.6156$
Zn	<u>Mytella strigata</u>	Polinomial $R^2= 0.696$ , $y = -0.001x^2 + 0.4155x + 36.046$
Cu	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Lineal $R^2= 0.691$ , $y = 4.5814x - 710.67$
Cu	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Polinomial $R^2= 0.959$ , $y = 0.0264x^2 - 8.09x + 638.23$
Cu	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Exponencial $R^2= 0.59$ , $y = 14.512e^{0.0107x}$
Cr	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Lineal $R^2= 0.682$ , $y = 0.0619x - 10.193$
Cr	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Polinomial $R^2= 0.982$ , $y= 0.0004x^2 - 0.1289 + 9.6873$
Cr	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Potencial $R^2= 0.807$ , $y = 0.0000006x^{2.7481}$
Cr	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Exponencial $R^2= 0.94$ , $y = 0.0518e^{0.0144x}$
Fe	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Logarítmica $R^2= 0.661$ , $y = -195.32\text{Ln}(x) + 1238.4$
Fe	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Polinomial $R^2= 0.784$ , $y = 0.0062x^2 - 3.7596x + 688.26$
Fe	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Potencial $R^2= 0.633$ , $y = 10386x^{-0.7598}$
Pb	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Lineal $R^2= 0.595$ , $y= 0.0713x - 10.105$
Pb	<u>Crassostrea corteziensis</u>	Polinomial $R^2= 0.917$ , $y = 0.0005x^2 - 0.1622x + 14.746$

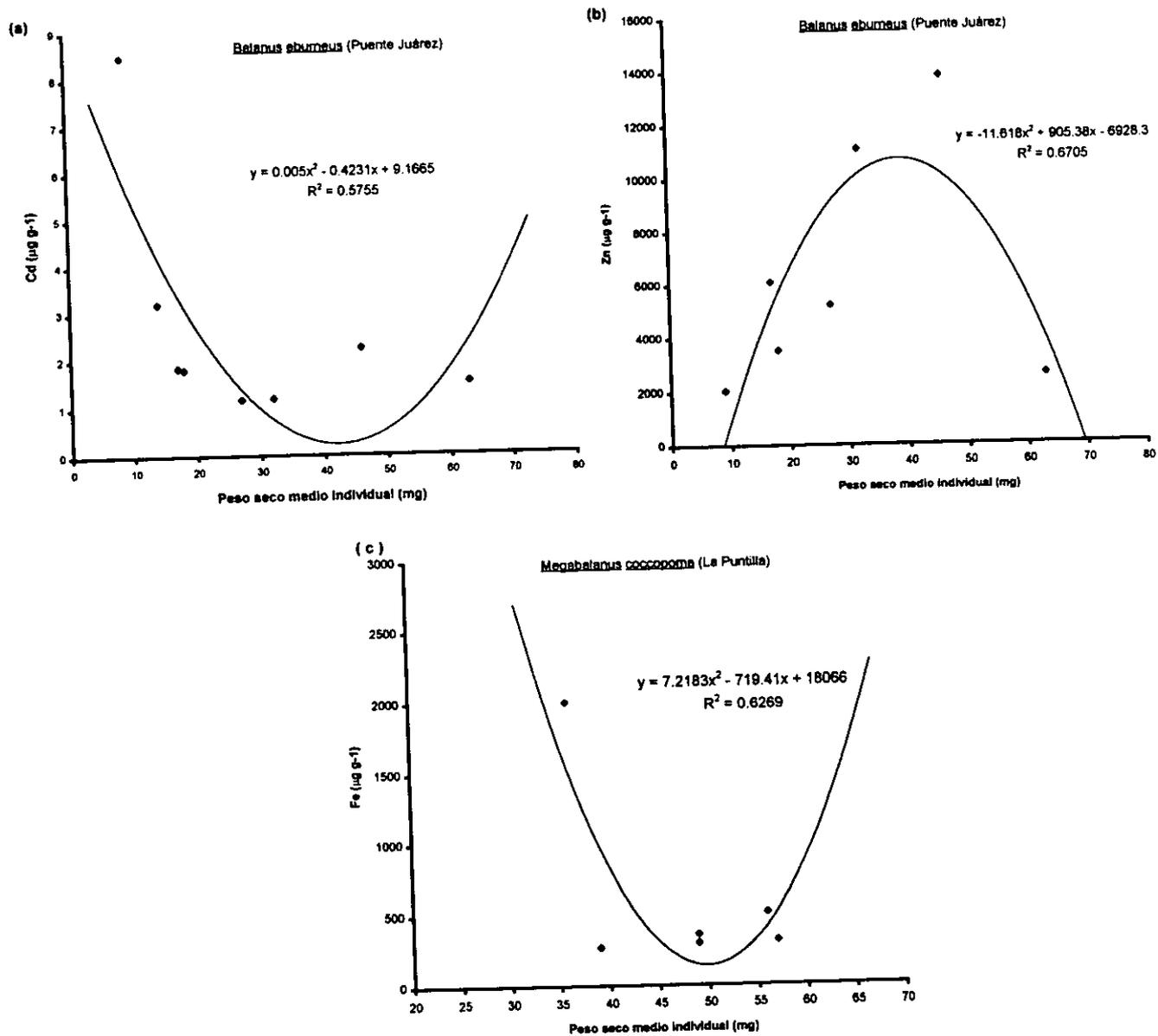


Fig. 10 Relaciones entre la concentración de metales y el peso seco medio individual en los balanos Megabalanus coccopoma y Balanus aburneus.

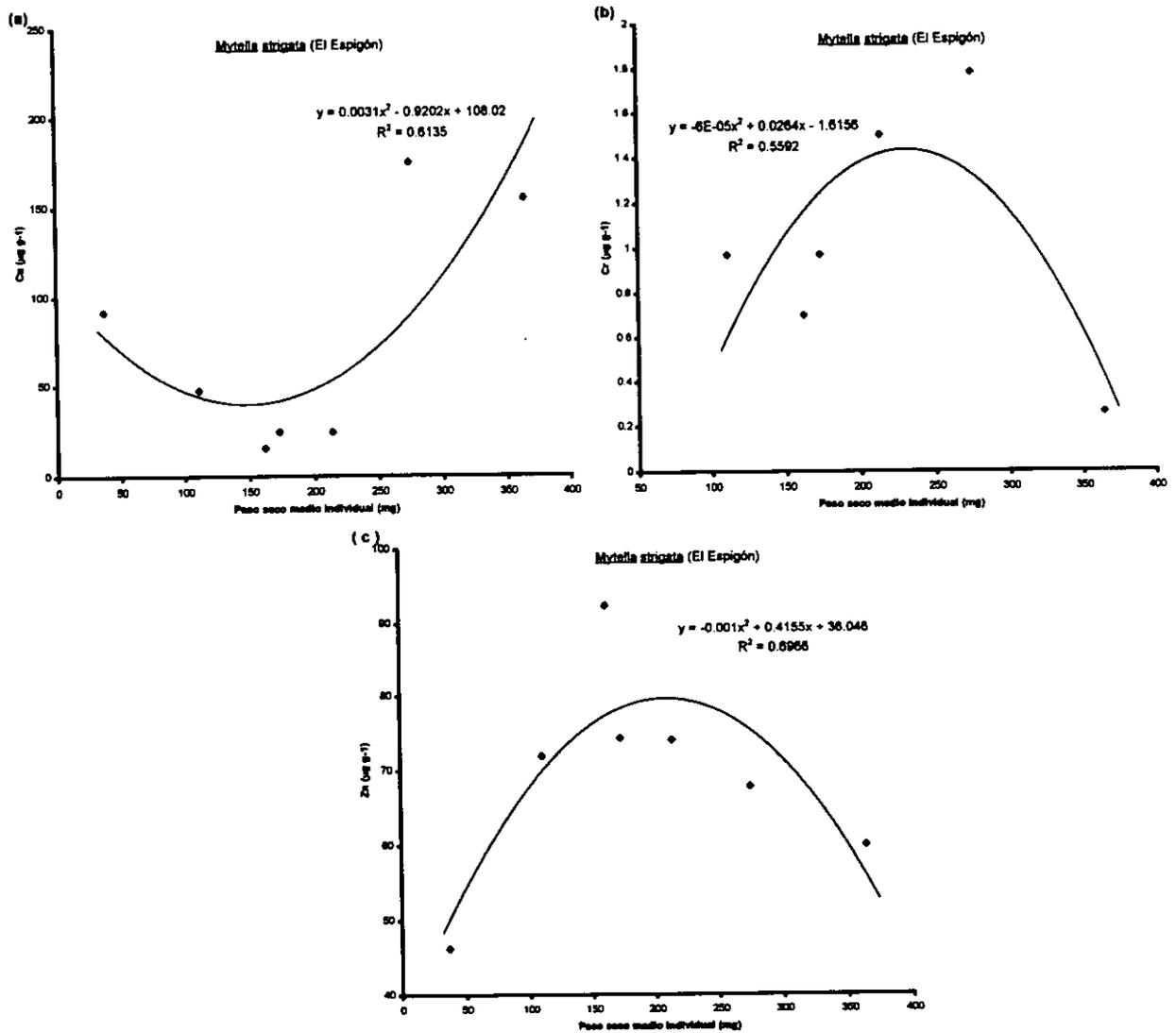


Fig. 11 Relaciones entre la concentración de metales y el peso seco medio individual en el mejillón *Mytilus strigata*.

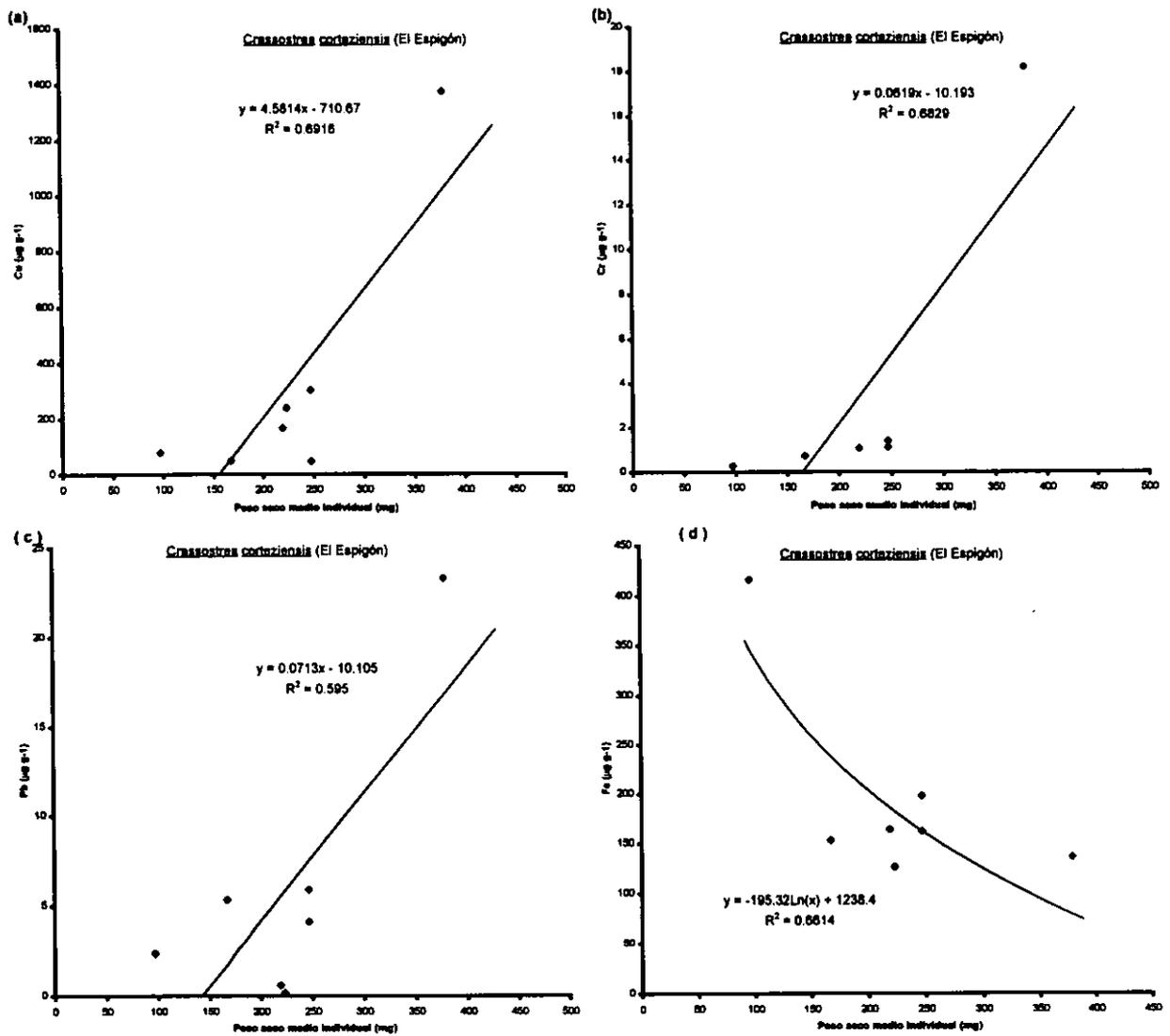


Fig. 12 Relaciones entre la concentración de metales y el peso seco medio individual en el ostión de mangle *Crassostrea corteziensis*.

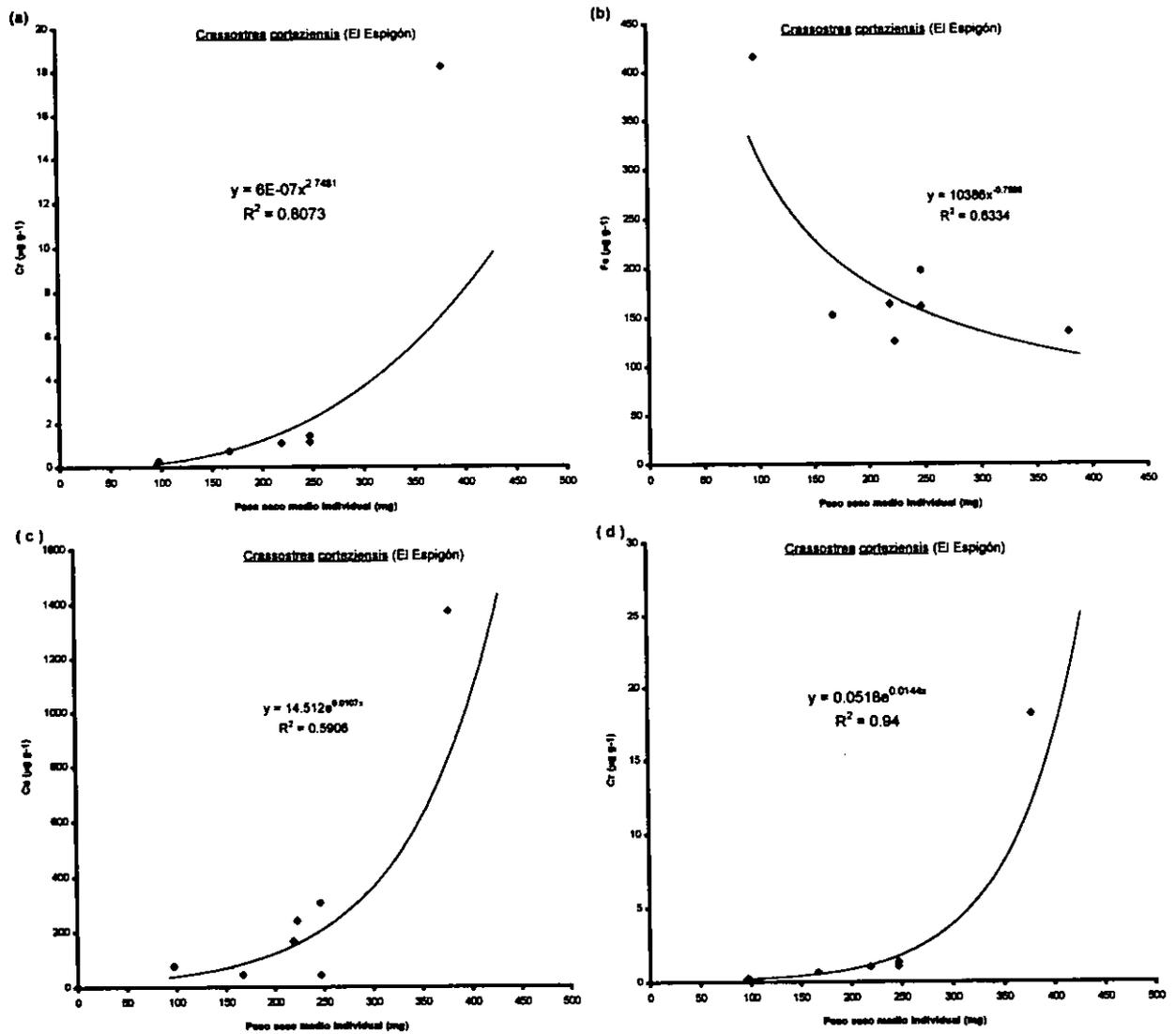


Fig. 13 Relaciones entre la concentración de metales y el peso seco medio individual en el ostión de mangle *Crassostrea corteziensis*.

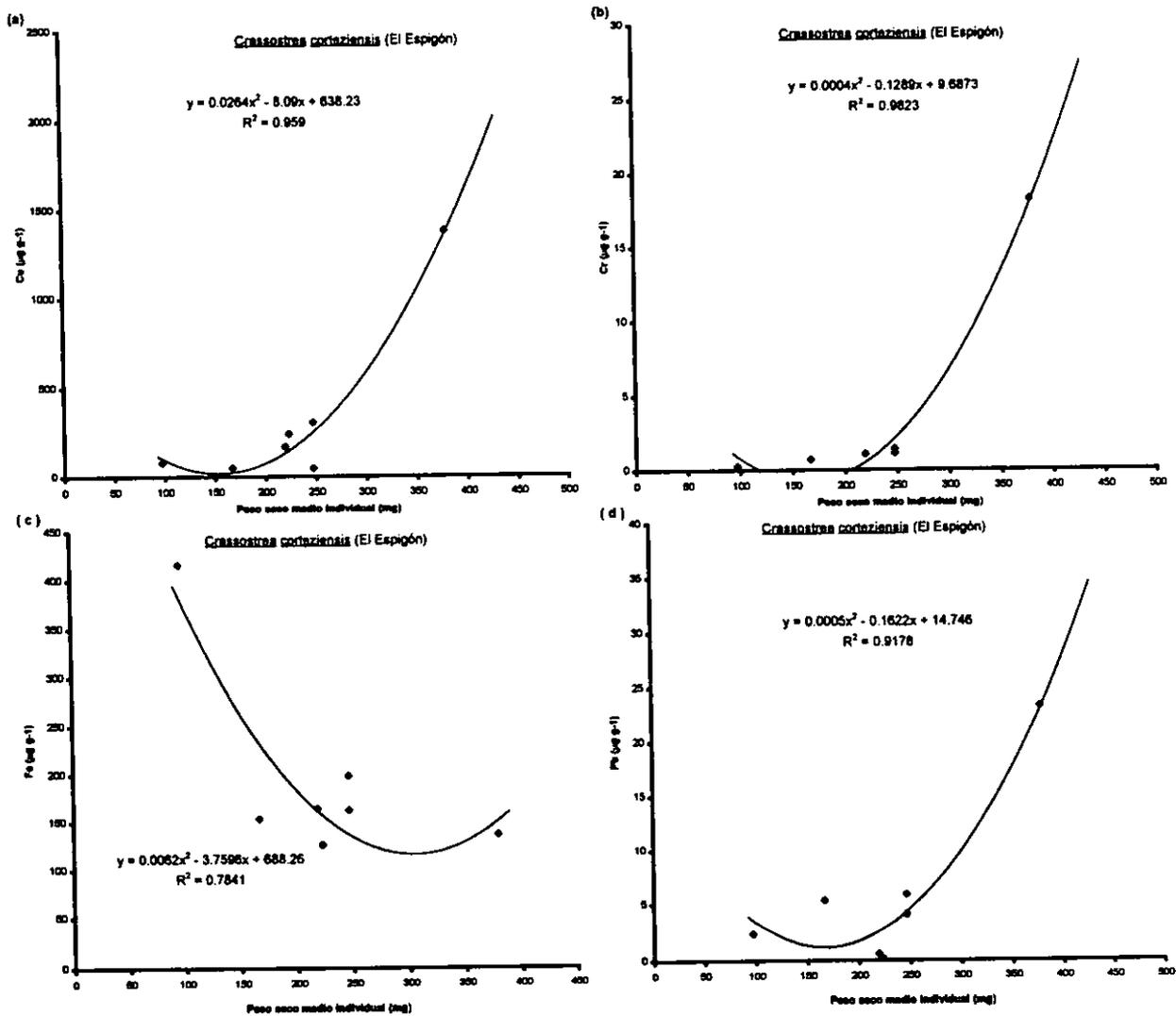


Fig. 14 Relaciones entre la concentración de metales y el peso seco medio individual en el ostión de mangle *Crassostrea corteziensis*.

Boyden (1977) concluyó que las concentraciones de Cd en Ostrea spp. son independientes de la talla (o el peso); sin embargo el Mn, Zn y Cu están directamente relacionados con la talla (o el peso), contrastando con el Fe, Ni y el Pb cuyas concentraciones son mayores en individuos pequeños.

#### 5.4 COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES.

A pesar de que existen diferentes técnicas y niveles de calidad analítica que evidentemente influyen en los valores de concentración de metales, resulta interesante comparar las concentraciones encontradas en los tejidos de organismos del mismo género o afines, de distintas localidades.

En la tabla 12 se presenta una comparación de las concentraciones medias de diferentes metales pesados en tres especies de balanos de diferentes partes del mundo.

Las concentraciones de Ag, Pb y Zn son mayores en Balanus eburneus de Mazatlán que las registradas para las especies de otros sitios. A pesar de ser animales del mismo género (Balanus), es probable que exista cierta variabilidad inherente a las diferentes especies; de manera que Balanus eburneus resulta un mejor acumulador de esos metales que Balanus amphitrite y Balanus uliginosus; o bien que los niveles biodisponibles de los metales son mayores en las aguas de Mazatlán que en las otras regiones.

En el caso del Cd las concentraciones detectadas en este estudio son menores a las encontradas en los balanos procedentes de las aguas de Hong Kong, China, el Mar Adriático e India. Referente al Ni, los niveles en los tejidos de los organismos de la zona del puerto de Mazatlán son menores a los

detectados en organismos recolectados en las aguas costeras de Hong Kong.

El Cr y el Cu se encuentran en concentraciones del mismo orden de magnitud que las encontradas en los lugares referidos; quizás eso es un reflejo de la biodisponibilidad similar de estos metales en este cuerpo de agua y los incluidos en la tabla 12, además de una estrategia de acumulación de cromo y cobre que es comparable entre las tres especies de balanos.

Tabla 12. Niveles de concentración ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) de algunos metales pesados para diferentes especies del género Balanus en diversas regiones del mundo.

Especie	Procedencia	Cd	Cr	Cu	Ni	Ag	Pb	Zn	Referencia
<u>Balanus amphitrite</u>	Hong Kong	16.2	7.2	658	9.3	2.1	11.1	9865	Rainbow, 1993
<u>Balanus amphitrite</u>	Adriático Norte						9.4		Barbaro <i>et al.</i> , 1978
<u>Balanus amphitrite</u>	Estuario Zuari, India			602				1750	Anil y Wagh, 1988
<u>Balanus amphitrite</u>	Provincia de Fujian, China	5.65	5.77	92.2		.92	7.02	6965	Rainbow <i>et al.</i> , 1993
<u>Balanus uliginosus</u>	Provincia de Fujian, China	8.7	3.76	90.7		.31	8.57	2966	Rainbow <i>et al.</i> , 1993
<u>Balanus amphitrite</u>	Hong Kong	10.1	28.0	203			39.2	11990	Phillips, 1988
<u>Balanus eburneus</u>	Estero de Urias, Mazatlán	4.2	3.52	135.9	8.4	4.33	65.4	17808	Este trabajo

Para el caso del Fe y el Mn no hay datos en otros lugares con los cuales hacer una comparación.

En la tabla 13 se presentan los niveles de concentración de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en 3 especies de mejillones y 3 especies de ostiones de distintos lugares. En el caso de los mejillones, las concentraciones de Cd, Cu, Mn y Ni en este estudio son superiores a los valores encontrados en otros sitios; sin embargo, en el trabajo de Bourgoin (1990) estos metales no se analizaron al utilizar Mytilus edulis en aguas canadienses. De la misma manera, el Mn y el Ni no se cuantificaron en el trabajo de Phillips (1988) en aguas de Hong Kong.

Bourgoin (1990) encontró una concentración de Pb de  $17.3 \mu\text{g g}^{-1}$ , valor superior a los medidos por el resto de los autores aquí comparados.

En cuanto al Cr, la concentración que se da en este estudio es menor a la encontrada por Phillips (1988) en el mejillón Perna viridis de las costas de Hong Kong, lo cual se debe posiblemente a que se trata de especies diferentes.

Los niveles de Zn en los tejidos de los mejillones de la región del puerto de Mazatlán se encuentran dentro del mismo orden de magnitud de los valores calculados en organismos recolectados en esta misma zona por Páez-Osuna *et al.* (1988) y en Hong Kong por Phillips (1988).

Para los ostiones, las concentraciones de Cd, Cu, Fe, Mn, Ni y Pb en este estudio se encuentran dentro del intervalo calculado para organismos similares procedentes del mismo sitio y de la laguna de Navachiste en Sinaloa y el estero del Camichín en Nayarit.

La concentración de Zn encontrada en este trabajo esta comprendida en el intervalo de valores que aquí se comparan ya que Páez-Osuna *et al.* (1988) encontraron un valor muy similar en Crassostrea corteziensis de la misma zona.

Tabla 13. Niveles de concentración ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) de metales pesados en diferentes especies de moluscos bivalvos de diversos lugares.

Especie/lugar	Cd	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Referencia
<u>Mytilus edulis</u> Dalhousie Harbor Canada							17.3		Bourgoin, 1990
<u>Mytella strigata</u> Mazatlán, México	0.2	12.1			31	8.1	11.7	26	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1988
<u>M. strigata</u> Ensenada del Pabellón, México	1.8	2.5	1.8	1050	68	4		1125	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1994
<u>Perna viridis</u> Queens Pier, Hong Kong	0.34	24	12.5				12.7	141	Phillips, 1988
<u>Mytella strigata</u> , Mazatlán, México	0.73	76.2	1.03	306	54	13.9	5.62	69.4	Este estudio
<u>Crassostrea</u> <u>corteziensis</u> Mazatlán, México	0.7	57.2		202	32.7	2.8	4.8	1443	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1988
<u>Saccostrea iridescens</u> Mazatlán, México	3.6	20.4		93	9.4	1.7		402	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1990
<u>Crassostrea</u> <u>corteziensis</u> Laguna Navachiste, Sinaloa	10.3	67.4		232	7.2	2.6		509	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1991
<u>Crassostrea</u> <u>coreteziensis</u> Ensenada del Pabellón, México	3.9	147		139	13.6	1.9		727	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1993
<u>Crassostrea</u> <u>corteziensis</u> Estero del Camichín, Nayarit	6.1	27		860	36	3.2	7.7	426	Páez-Osuna <i>et al.</i> , 1995
<u>Crassostrea</u> <u>corteziensis</u> Mazatlán, México	1.17	323	3.78	193	32.2	6.65	5.9	1459	Este estudio

## 5.5 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN BALANOS.

En la figura 15a se presentan de manera gráfica las concentraciones de Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) en los tejidos blando y duro del balano Megabalanus coccopoma procedente de la estación La Puntilla. Para todo el ciclo de muestreo las concentraciones de Cd detectadas en el tejido blando fueron superiores a las encontradas en el tejido duro.

En los tejidos blandos el mayor valor de concentración alcanzó  $42.1 \mu\text{g g}^{-1}$  durante enero de 1996; y la concentración más baja fue de  $17.4 \mu\text{g g}^{-1}$  en diciembre de 1995.

En los tejidos duros, los valores fueron siempre menores a  $2 \mu\text{g g}^{-1}$ . El valor máximo fue de  $1.94 \mu\text{g g}^{-1}$  durante diciembre de 1995 y el valor mínimo alcanzó  $1.17 \mu\text{g g}^{-1}$ , en agosto de 1996.

Para el caso del balano Balanus eburneus recolectado en la estación Puente Juárez, las variaciones en las concentraciones de Cd en los tejidos blando y duro se presentan en la figura 15b. En el tejido blando la concentración más alta fue la correspondiente a octubre de 1995 con un valor de  $10.7 \mu\text{g g}^{-1}$  mientras que la concentración más baja se detectó durante agosto de 1996 con un valor de  $1.2 \mu\text{g g}^{-1}$ . Con respecto al tejido duro, la mayoría de las concentraciones de Cd alcanzaron un valor cercano a  $1 \mu\text{g g}^{-1}$ , detectándose el nivel más alto durante marzo de 1996 con  $1.05 \mu\text{g g}^{-1}$  y el valor mas bajo con  $0.63 \mu\text{g g}^{-1}$  durante abril de 1996.

En relación con el balano Balanus eburneus de la estación Muelle Bonfil. En forma general, los niveles más altos de Cd en el tejido blando se detectaron en marzo de 1996 con  $10.1 \mu\text{g g}^{-1}$  mientras que los valores menores se registraron durante agosto de 1996 con un valor de  $1.2 \mu\text{g g}^{-1}$  (Fig. 15c). Para el caso de los tejidos duros, al igual que en el caso anterior se mantuvo una concentración cercana a  $1 \mu\text{g g}^{-1}$  a lo largo del ciclo de muestreo.

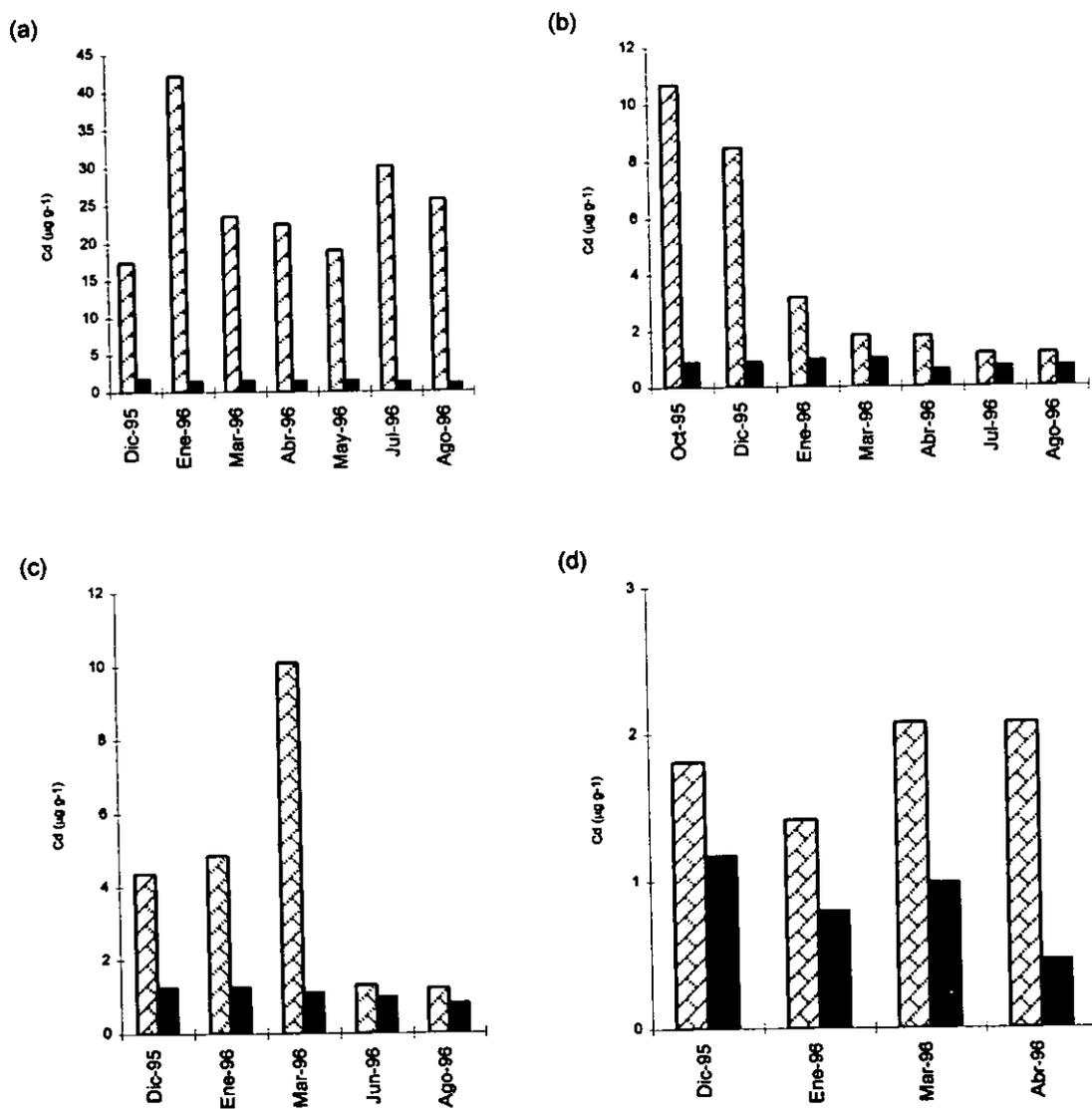


Fig. 15. Concentraciones de Cd en los tejidos blandos (  ) y duro (  ) de (a) *M. coccopoma* de la estación La Puntilla, (b) *B. eburneus* de la estación Puente Juárez, (c) *B. eburneus* de la estación Muelle Bonfil y (d) *E. dentivarians* de la estación El Espigón.

Las concentraciones de Cd en los tejidos blando y duro del balano Fistulobalanus dentivarians recolectado en la estación El Espigón se presentan en la figura 15d. Para el tejido blando, los niveles máximos se presentaron durante marzo y abril de 1996 con una concentración de  $2.07 \mu\text{g g}^{-1}$  en ambos casos, mientras que el nivel mínimo fue el correspondiente a enero de 1996 con una concentración de  $1.42 \mu\text{g g}^{-1}$ . En el tejido duro, los valores extremos fueron  $0.46$  y  $1.18 \mu\text{g g}^{-1}$ , durante abril de 1996 y diciembre de 1995 respectivamente.

Para todas las estaciones de muestreo y todas las especies, las concentraciones de Cd en los tejidos blandos de los balanos fueron mayores que las correspondientes a los tejidos duros a lo largo del ciclo de muestreo. Al parecer, la disponibilidad ambiental del Cd no se refleja en la concentración encontrada en el tejido duro: quizás parte del Cd estaba en el material adherido sobre la concha o formando parte de la capa externa de la misma (periostraco) y el procedimiento de limpieza utilizado elimina precisamente el material particulado y el periostraco (Foster y Chacko, 1995). Watson *et al.* (1995) consideran que las conchas de los balanos no constituyen un buen material de biomonitorio de Cd.

De manera general se aprecia que los niveles máximos de Cd en los diferentes sitios de muestreo presentan tendencias estacionales contrastantes, aún para el caso de dos sitios de muestreo muy cercanos como son las estaciones Puente Juárez y Muelle Bonfil, donde se recolectó al balano B. eburneus; ello revela una biodisponibilidad del metal diferente en las localidades.

En la figura 16a se presentan las concentraciones de Cr en los tejidos blando y duro del balano Megabalanus coccopoma procedente de la estación La Puntilla. Las tendencias estacionales no muestran un patrón definido en los niveles de este metal. De manera global, las concentraciones detectadas en los tejidos duros fueron menores a las de los tejidos blandos. Los

valores máximo y mínimo de Cr en el tejido blando fueron 3.22 y 0.24  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante abril y mayo de 1996, respectivamente.

En relación con el tejido duro, se observó una tendencia decreciente en los niveles de Cr desde diciembre de 1995 con 0.83  $\mu\text{g g}^{-1}$  hasta julio de 1996 con 0.14  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

En el balano Balanus eburneus procedente de la estación Puente Juárez, los niveles de Cr en los tejidos blando y duro se presentan en la figura 16b. Los valores más elevados en ambos tipos de tejido fueron 12.9 y 1.5  $\mu\text{g g}^{-1}$  para las porciones suave y dura, respectivamente, en diciembre de 1995 y marzo de 1996. Por lo que respecta a los valores mínimos, se detectaron 0.14  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante octubre de 1995 en el tejido duro y 1.25  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante junio de 1996 en el tejido blando.

Para el caso del balano Balanus eburneus recolectado en la estación Muelle Bonfil, las variaciones estacionales se presentan en la figura 16c. A lo largo del ciclo de muestreo las concentraciones de Cr en el tejido duro siempre fueron menores que las correspondientes al tejido blando. El mayor valor de concentración de Cr en los tejidos blandos fue de 5.45  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante enero de 1996 y el valor mas bajo fue de 0.06  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante junio de 1996.

En los tejidos duros hay valores correspondientes a enero de 1996 con 0.67  $\mu\text{g g}^{-1}$  y a marzo de 1996 con 0.99  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Al parecer, la disponibilidad de Cr para esta estación de muestreo no se reflejó en la concentración encontrada en el tejido duro, en cambio en el tejido blando ocurrió la situación opuesta.

En la figura 16d se presentan las concentraciones de Cr (en  $\mu\text{g g}^{-1}$  de peso seco) en los tejidos blando y duro del balano Fistulobalanus dentivarians procedente de la estación El Espigón. El valor máximo encontrado en el tejido blando fue de 3.82  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante abril de 1996, mientras que con el valor mínimo fue de 1.36  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante enero de 1996.

En relación al tejido duro, solo se tiene un dato disponible correspondiente a abril de 1996 con  $0.33 \mu\text{g g}^{-1}$ .

Como se puede observar en las figuras 16a - 16d, los niveles de Cr en el tejido duro estuvieron por debajo de las concentraciones correspondientes al tejido blando a lo largo de todo el muestreo. Se puede presumir en principio que, por los bajos niveles de concentración, el tejido duro no es apropiado para utilizarlo como herramienta de monitoreo.

Para el caso del Cu (Fig. 17), la variación estacional se comporta de manera similar en el balano B. eburneus procedente de las estaciones Puente Juárez y Muelle Bonfil. Probablemente, la cercanía de las estaciones de muestreo, además de tratarse de la misma especie, nos indica que la biodisponibilidad de este metal es semejante en ambos sitios. En la estación Puente Juárez, en el tejido blando la variación fue descendente a partir de octubre de 1995 con  $621 \mu\text{g g}^{-1}$  hasta llegar a  $27.5 \mu\text{g g}^{-1}$  durante abril de 1996. En cuanto a la estación Muelle Bonfil, el nivel máximo se detectó durante diciembre de 1995 con  $244 \mu\text{g g}^{-1}$  y el valor mínimo fue de  $38.5 \mu\text{g g}^{-1}$  durante junio de 1996. Para el caso de las estaciones La Puntilla y El Espigón, no hay una tendencia definida de las concentraciones a lo largo del año.

En la figura 18a se pueden observar las concentraciones de Fe ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) en los tejidos blando y duro del balano Megabalanus coccopoma procedente de la estación La Puntilla. Durante todo el ciclo de muestreo los valores de la concentración en los tejidos blandos fueron mayores que en los tejidos duros. En los tejidos blandos, el valor máximo encontrado fue de  $2000 \mu\text{g g}^{-1}$  durante marzo de 1996 y el valor mínimo en enero de 1996 con una concentración de  $267 \mu\text{g g}^{-1}$ . En los tejidos duros la concentración máxima se presentó durante julio de 1996 con un valor de  $76.6 \mu\text{g g}^{-1}$  y la concentración mínima alcanzó un valor de  $44 \mu\text{g g}^{-1}$  durante marzo de 1996.

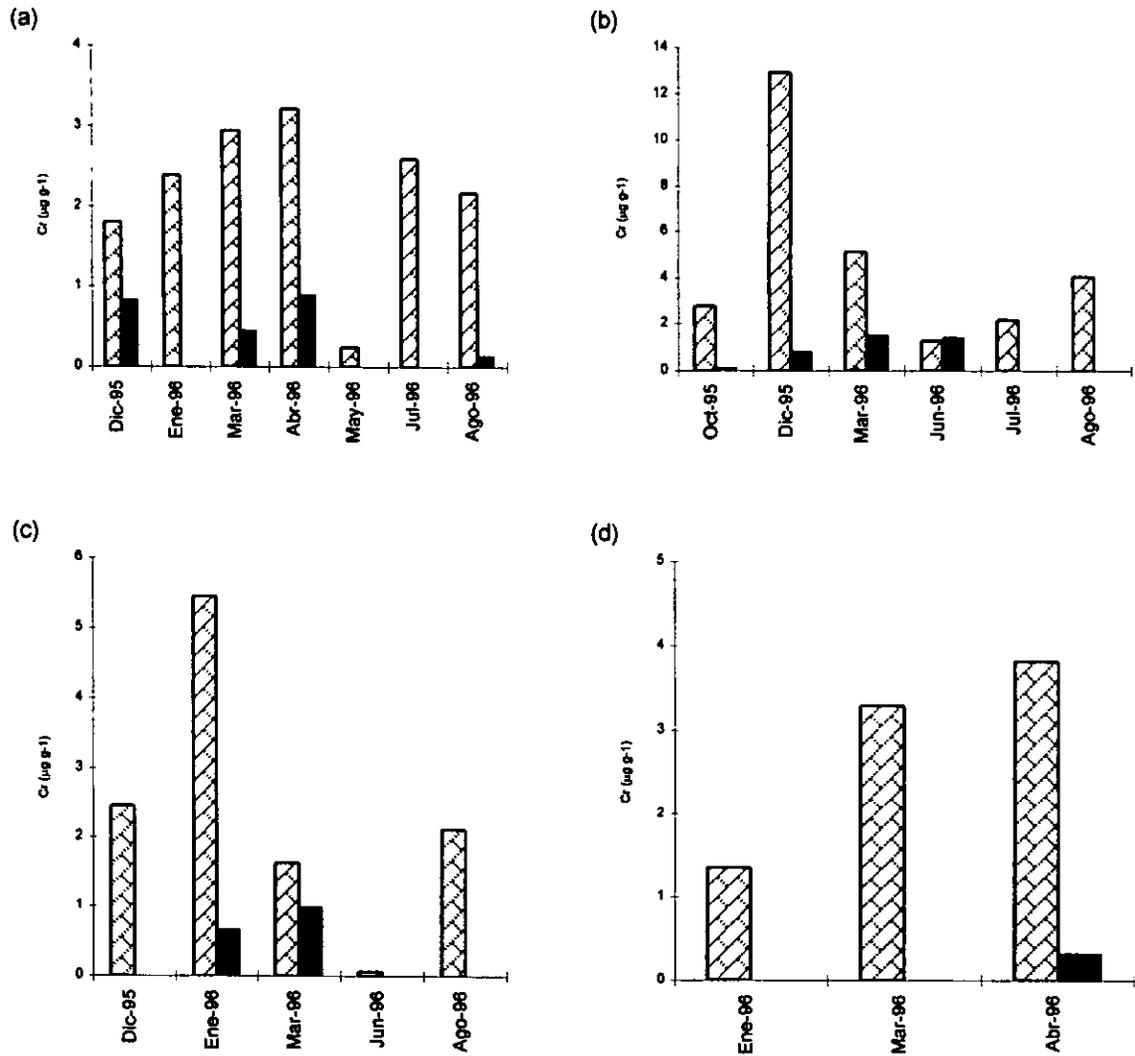


Fig. 16. Concentraciones de Cr en los tejidos blandos (  ) y duro (  ) de (a) *M. coccopoma* de la estación La Puntilla, (b) *B. eburneus* de la estación Puente Juárez, (c) *B. eburneus* de la estación Muelle Bonfil y (d) *E. dentivarians* de la estación El Espigón.

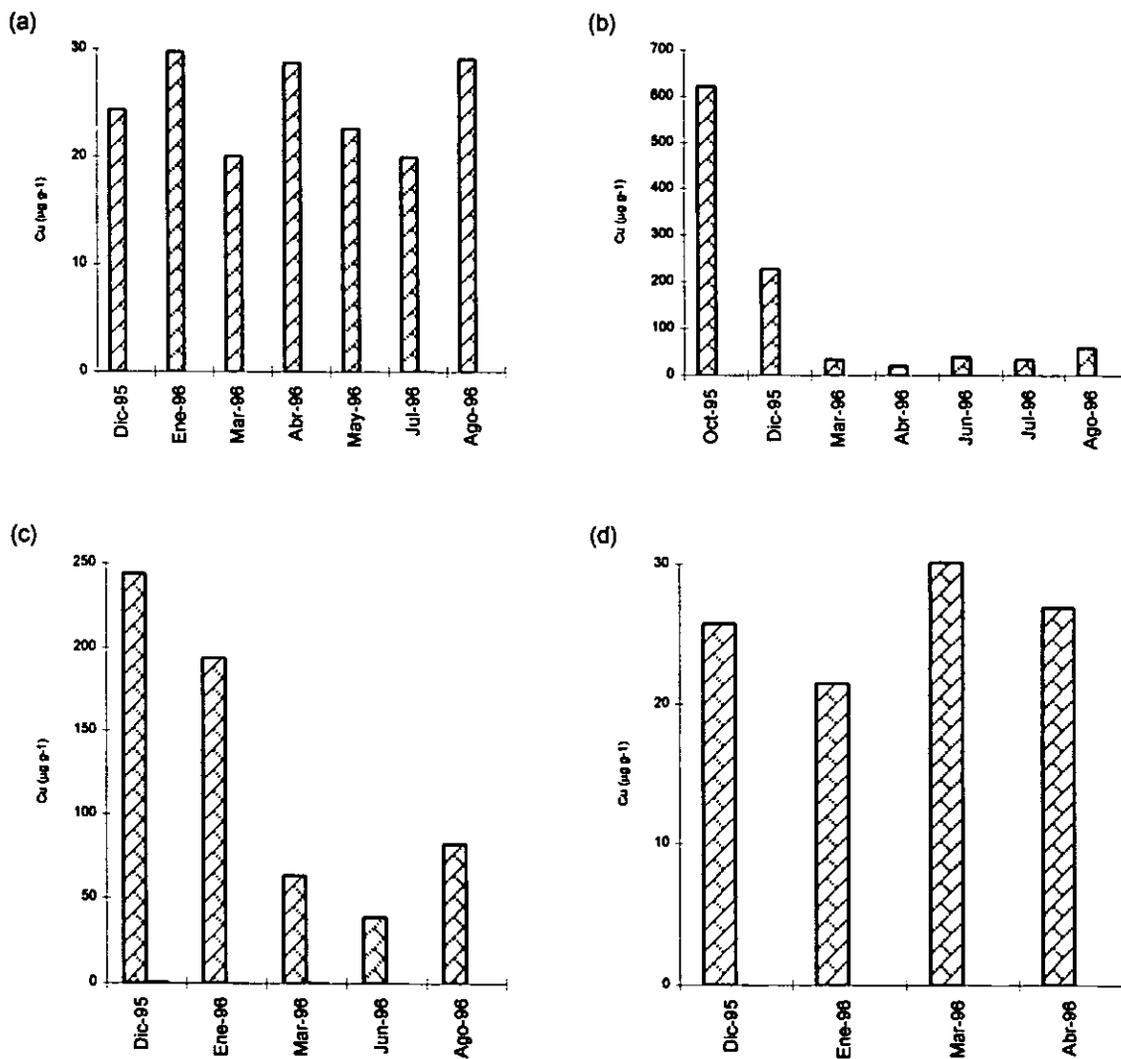


Fig. 17. Concentraciones de Cr en los tejidos blandos (▨) y duro (■) de (a) *M. coccopoma* de la estación La Puntilla, (b) *B. ebumeus* de la estación Punto Juárez, (c) *B. ebumeus* de la estación Muelle Bonfil y (d) *E. dentivarians* de la estación El Espigón.

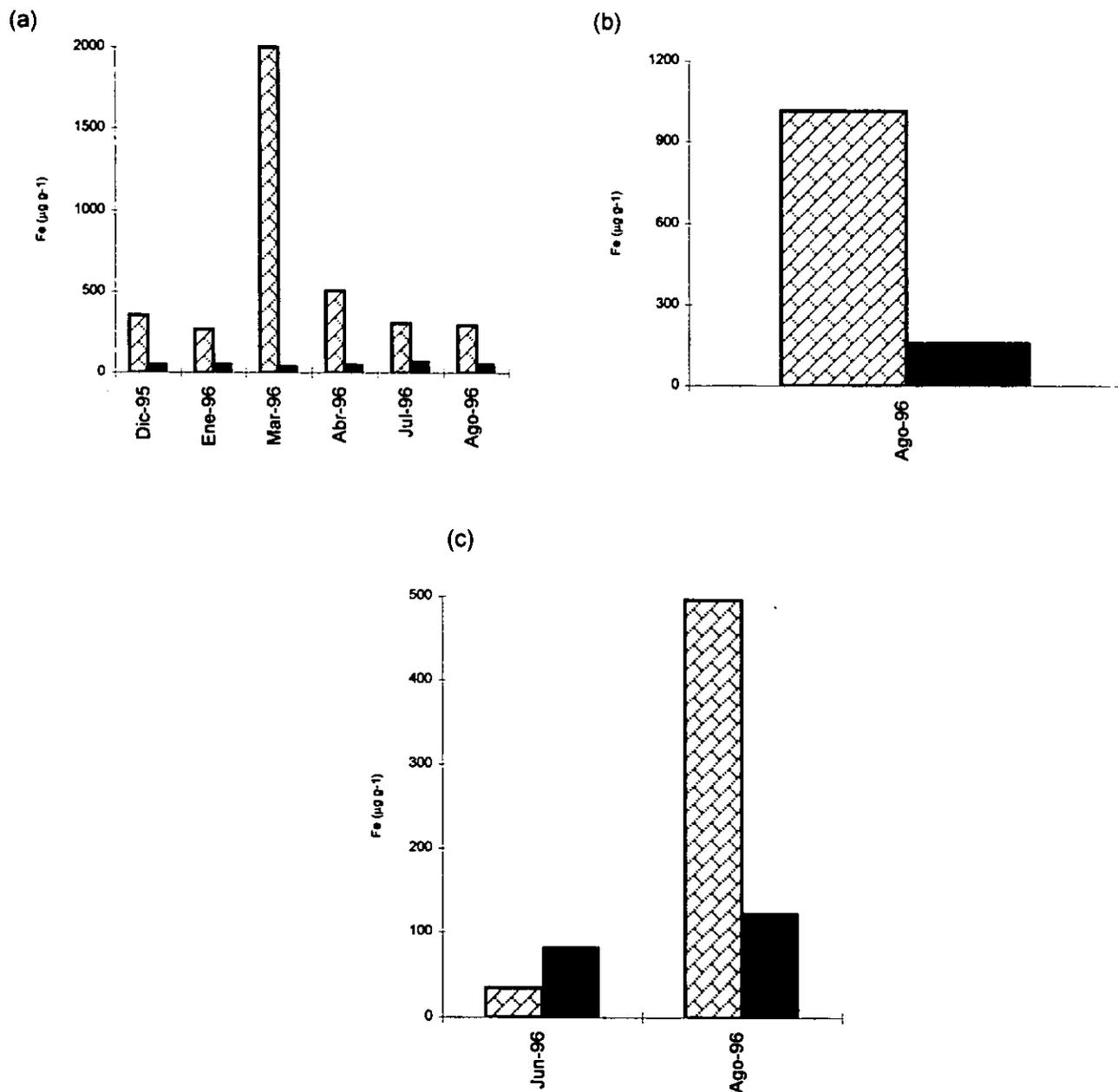


Fig. 18. Concentraciones de Fe en los tejidos blandos ( ) y duro (  ) de (a) *M. coccopom* estación La Puntilla, (b) *B. eburneus* de la estación Puente Juárez, (c) *B. eburneus* de Muelle Bonfil y (d) *E. dentivarians* de la estación El Espigón.

Por lo que respecta a los niveles de Fe en el balano B. eburneus recolectado en las estaciones Puente Juárez y Muelle Bonfil, las concentraciones detectadas corresponden a agosto de 1996 y fueron como sigue: en el tejido blando los valores máximos fueron 1013 y 496  $\mu\text{g g}^{-1}$  para los organismos recolectados de la estación Puente Juárez y Muelle Bonfil, respectivamente. Sería interesante disponer de mayor información acerca de las concentraciones de Fe en los dos tipos de tejido a lo largo del año para realizar una comparación mas objetiva. Sin embargo, aún cuando fueron pocas las determinaciones llevadas a cabo, se puede presumir que el material de las conchas de los balanos no constituye un buen material para acumular Fe, lo cual concuerda con Foster y Chacko (1995), quienes trabajaron con la lapa Patella vulgata recolectada en las aguas costeras del Reino Unido y encontraron niveles de Fe del orden de los 2.7  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido duro, concluyendo que este material es inadecuado para estudios de biomonitoreo.

En la figura 19 se muestran las fluctuaciones de los niveles de Mn en los tejidos blando y duro de los balanos de la zona de estudio. A lo largo de todo el ciclo de muestreo, el tejido duro acumuló mayores concentraciones de Mn que el tejido blando. De los elementos analizados, este es el único metal donde las concentraciones en el tejido duro fueron más elevadas que las correspondientes al tejido blando; posiblemente para el caso del Mn los tejidos duros constituyen un buen material de biomonitoreo.

A lo largo del ciclo de muestreo, las concentraciones más elevadas en los tejidos duros se detectaron durante abril de 1996 en la estación La Puntilla con 4742  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; en agosto de 1996 en la estación Puente Juárez con 490  $\mu\text{g g}^{-1}$ ; en marzo de 1996 en la estación Muelle Bonfil con 342  $\mu\text{g g}^{-1}$  y en diciembre de 1995 en la estación El Espigón con 456  $\mu\text{g g}^{-1}$ . De manera general, se puede decir que el Mn detectado en las localidades de estudio tiene biodisponibilidades diferentes si se comparan los niveles entre los tejidos blandos y duros.

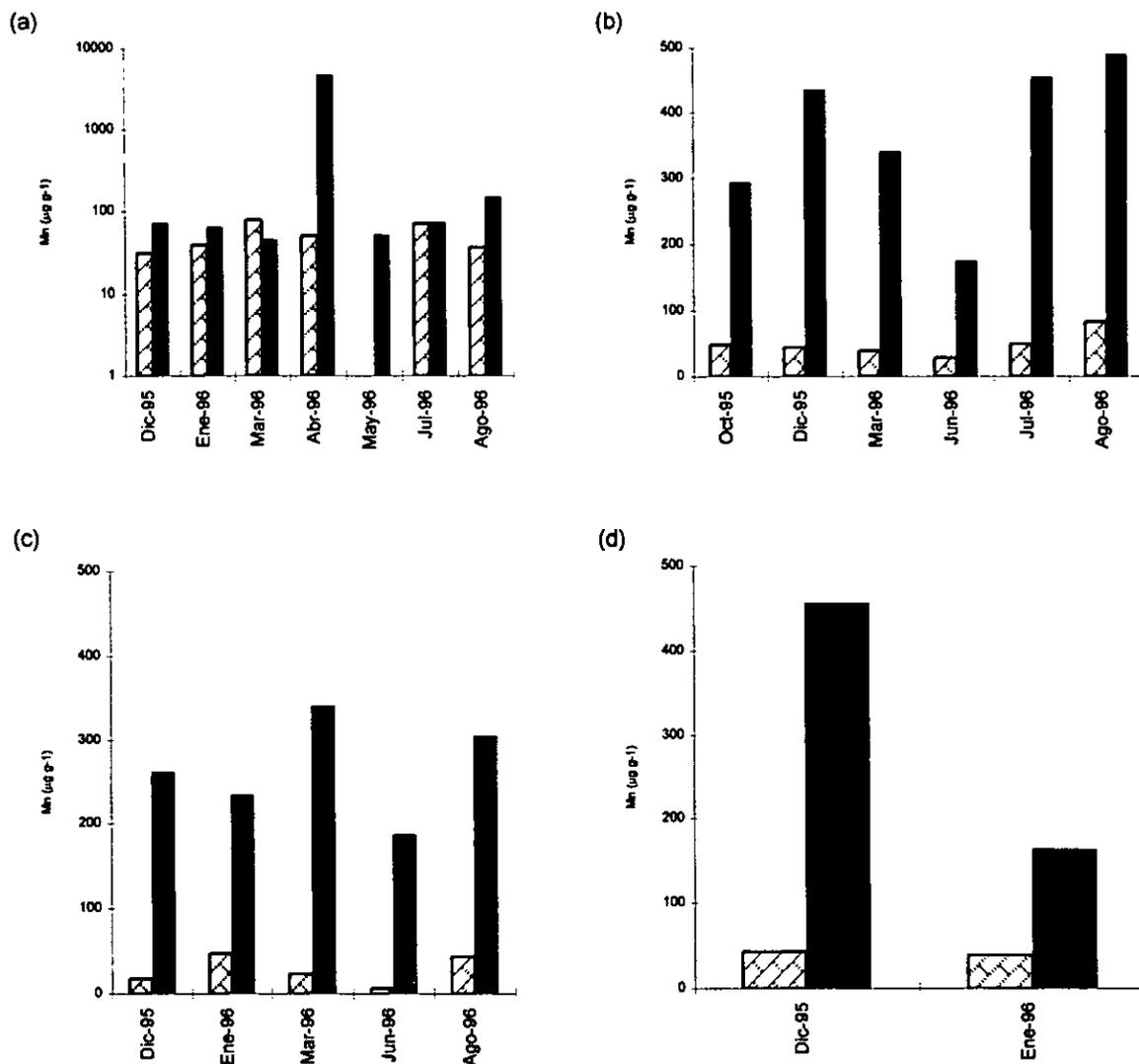


Fig. 19. Concentraciones de Mn en los tejidos blandos (▨) y duro (■) de (a) *M. coccopoma* de la estación La Puntilla, (b) *B. eburneus* de la estación Puente Juárez, (c) *B. eburneus* de la estación Muelle Bonfil y (d) *E. dentivarians* de la estación El Espigón.

Watson *et al.*(1995) encontraron una media de 350.6 ppm de Mn en el tejido duro de Semibalanus balanoides procedente del Reino Unido; y concluyeron que uno de los problemas de utilizar a los tejidos duros de estos organismos como material de biomonitoreo es la variabilidad que se presenta dentro de una población, aún entre organismos que crecieron juntos y consideran a este material como inadecuado para estudios de biomonitoreo. Por este motivo, en el caso de las especies aquí estudiadas habría que evaluar cuidadosamente la variabilidad individual.

En la figura 20 se dan las concentraciones medias de Ni en el tejido blando de los balanos estudiados. En relación a los tejidos duros no hay información disponible. En el caso de los tejidos blandos, las concentraciones más elevadas se detectaron durante enero de 1996 en la estación Muelle Bonfil ( $16.7 \mu\text{g g}^{-1}$ ); en octubre de 1995 en la estación Puente Juárez ( $15.4 \mu\text{g g}^{-1}$ ); en diciembre de 1995 en la estación El Espigón ( $10.6 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y en enero de 1996 en la estación La Puntilla ( $10.4 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

Los niveles de Ag en los tejidos blandos de los balanos recolectados en las cuatro estaciones de muestreo se presentan en la figura 21. Para el caso de los tejidos duros no hay información disponible. A lo largo del ciclo de muestreo no se nota una tendencia en las concentraciones de este metal. En la estación La Puntilla el valor máximo se detectó en diciembre de 1995 ( $6.67 \mu\text{g g}^{-1}$ ); en la estación Puente Juárez el máximo se encontró en junio de 1996 ( $12.1 \mu\text{g g}^{-1}$ ); en la estación Muelle Bonfil durante marzo de 1996 ( $7.5 \mu\text{g g}^{-1}$ ) y en la estación El Espigón en abril de 1996 ( $25 \mu\text{g g}^{-1}$ ).

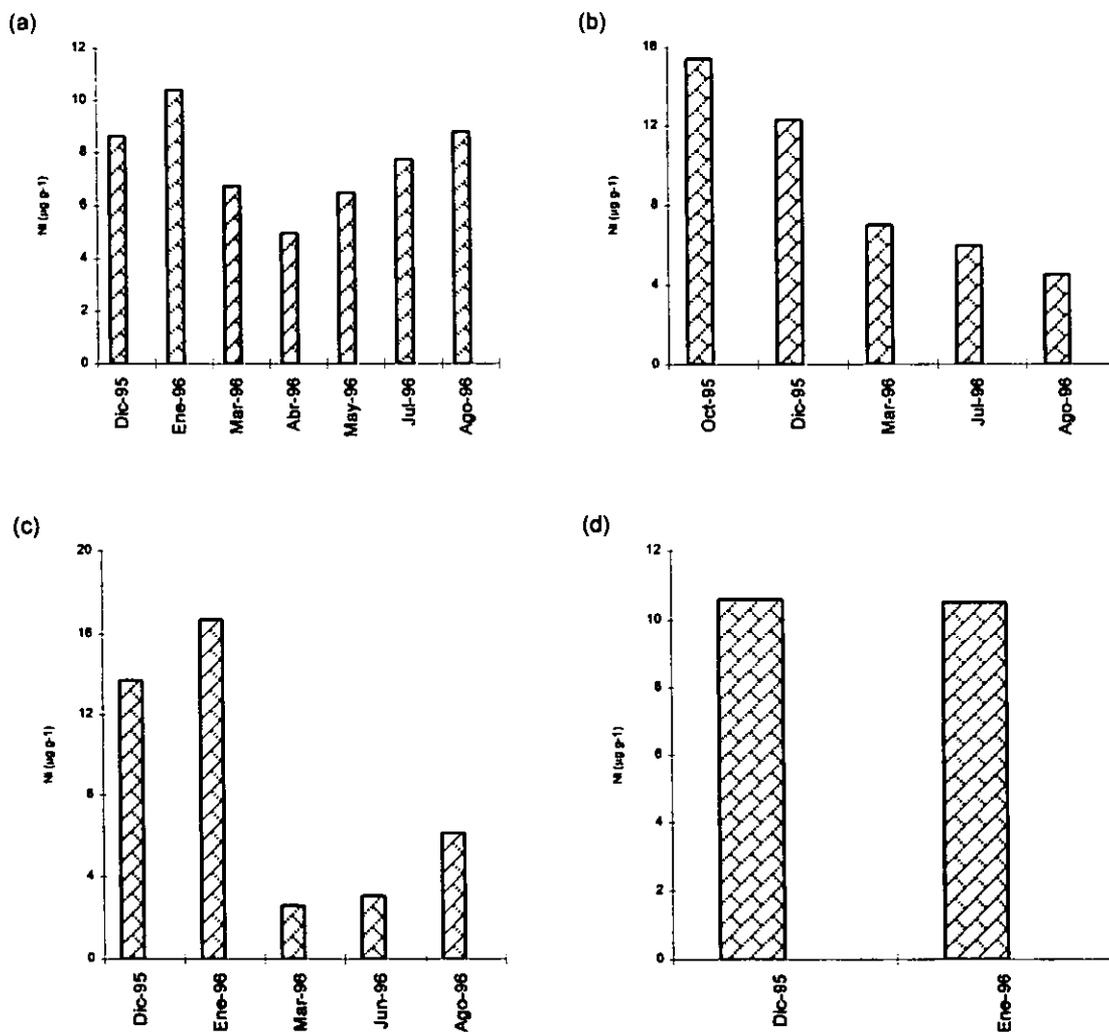


Fig. 20. Concentraciones de Ni en los tejidos blandos (  ) y duro (  ) de (a) *M. coccopoma* de la estación La Puntilla, (b) *B. eburneus* de la estación Puente Juárez, (c) *B. eburneus* de la estación Muelle Bonfil y (d) *E. dentivarians* de la estación El Espigón.

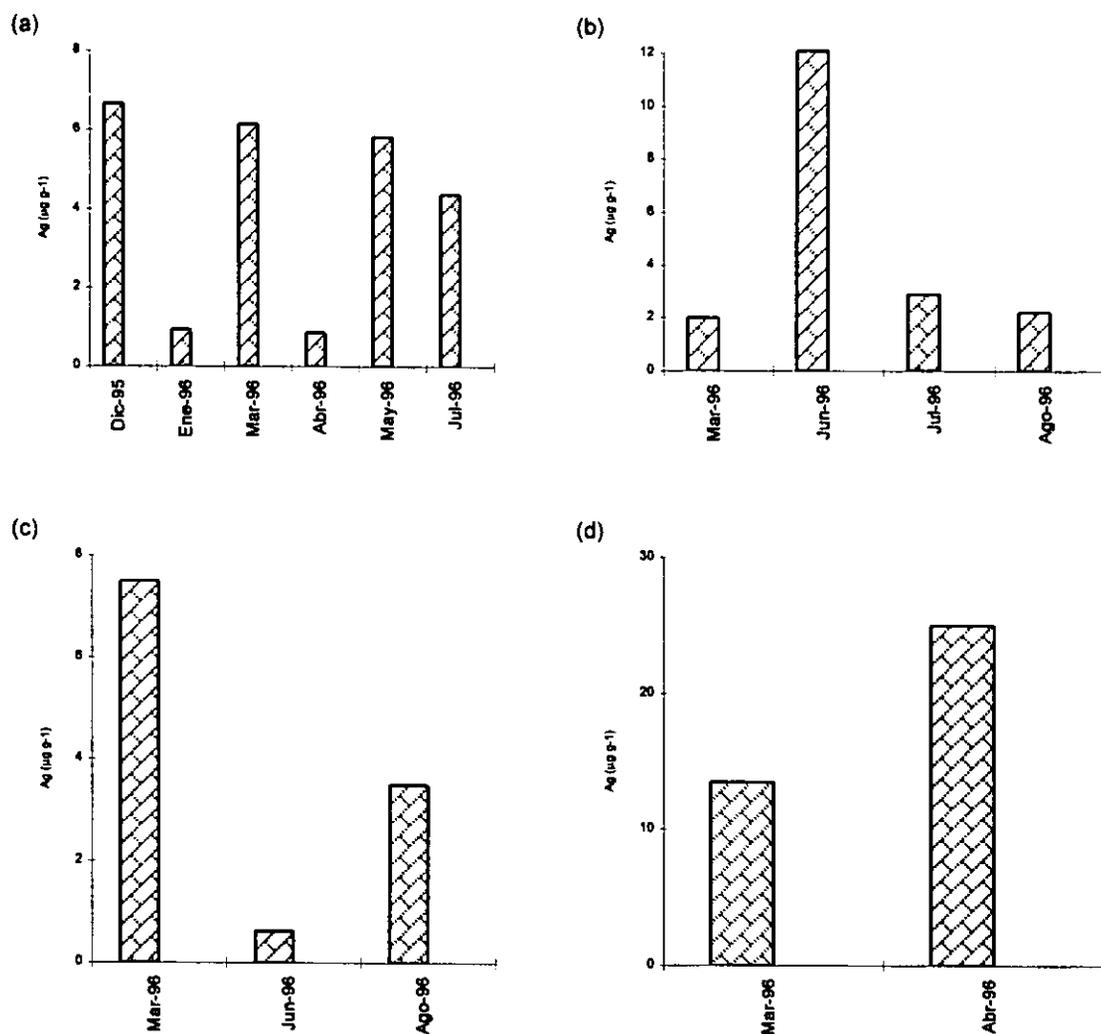


Fig. 21. Concentraciones de Ag en los tejidos blandos (▨) y duro (■) de (a) *M. coccopoma* de la estación La Puntilla, (b) *B. eburneus* de la estación Puente Juárez, (c) *B. eburneus* de la estación Muelle Bonfil y (d) *E. dentivarians* de la estación El Espigón.

Las concentraciones de Pb en los balanos se presentan en la figura 22. En el tejido blando los niveles máximos se detectaron durante enero de 1996 en las estaciones La Puntilla y Muelle Bonfil; en diciembre de 1995 en la estación Puente Juárez y en marzo de 1996 en la estación El Espigón. La tendencia en los niveles de Pb en los tejidos blandos muestra una correspondencia entre las estaciones La Puntilla y Muelle Bonfil, donde hay un nivel máximo en enero de 1996, una disminución en marzo de 1996 y un incremento en agosto de 1996. Las fluctuaciones en la concentración de este metal se pueden deber a que efectivamente las aguas presentan variaciones del metal biodisponible y a que el organismo tiene alguna peculiaridad relacionada con su ciclo reproductivo y su metabolismo. En las otras dos estaciones (Puente Juárez y El Espigón) no hay una tendencia clara.

En los tejidos duros se detectaron niveles máximos de Pb como sigue: en la estación La Puntilla  $13.3 \mu\text{g g}^{-1}$  en diciembre de 1995, en las estaciones Puente Juárez y Muelle Bonfil  $21.6$  y  $19.2 \mu\text{g g}^{-1}$  durante junio y marzo de 1996, respectivamente y en la estación El Espigón  $12.3 \mu\text{g g}^{-1}$ . Los niveles mínimos fueron: en la estación La Puntilla  $1.82 \mu\text{g g}^{-1}$  durante mayo de 1996; en las estaciones Puente Juárez y Muelle Bonfil  $0.65$  y  $11.3 \mu\text{g g}^{-1}$  respectivamente, en diciembre de 1995; y en la estación El Espigón  $6.18 \mu\text{g g}^{-1}$ .

Las variaciones de las concentraciones medias de Zn en los tejidos blando y duro de los balanos se presentan en la figura 23. En el caso de los tejidos duros no se observa ninguna tendencia, ya que las concentraciones en todas las localidades fueron cercanas a  $50 \mu\text{g g}^{-1}$ . En el caso de los tejidos blandos se observa un patrón ascendente en la estación Puente Juárez, con  $2049 \mu\text{g g}^{-1}$  durante diciembre de 1995 y llegando hasta  $11078 \mu\text{g g}^{-1}$  en agosto de 1996. El comportamiento opuesto se presentó en la estación Muelle Bonfil, con  $11121 \mu\text{g g}^{-1}$  durante el enero de 1996 y  $3546 \mu\text{g g}^{-1}$  en junio de 1996.

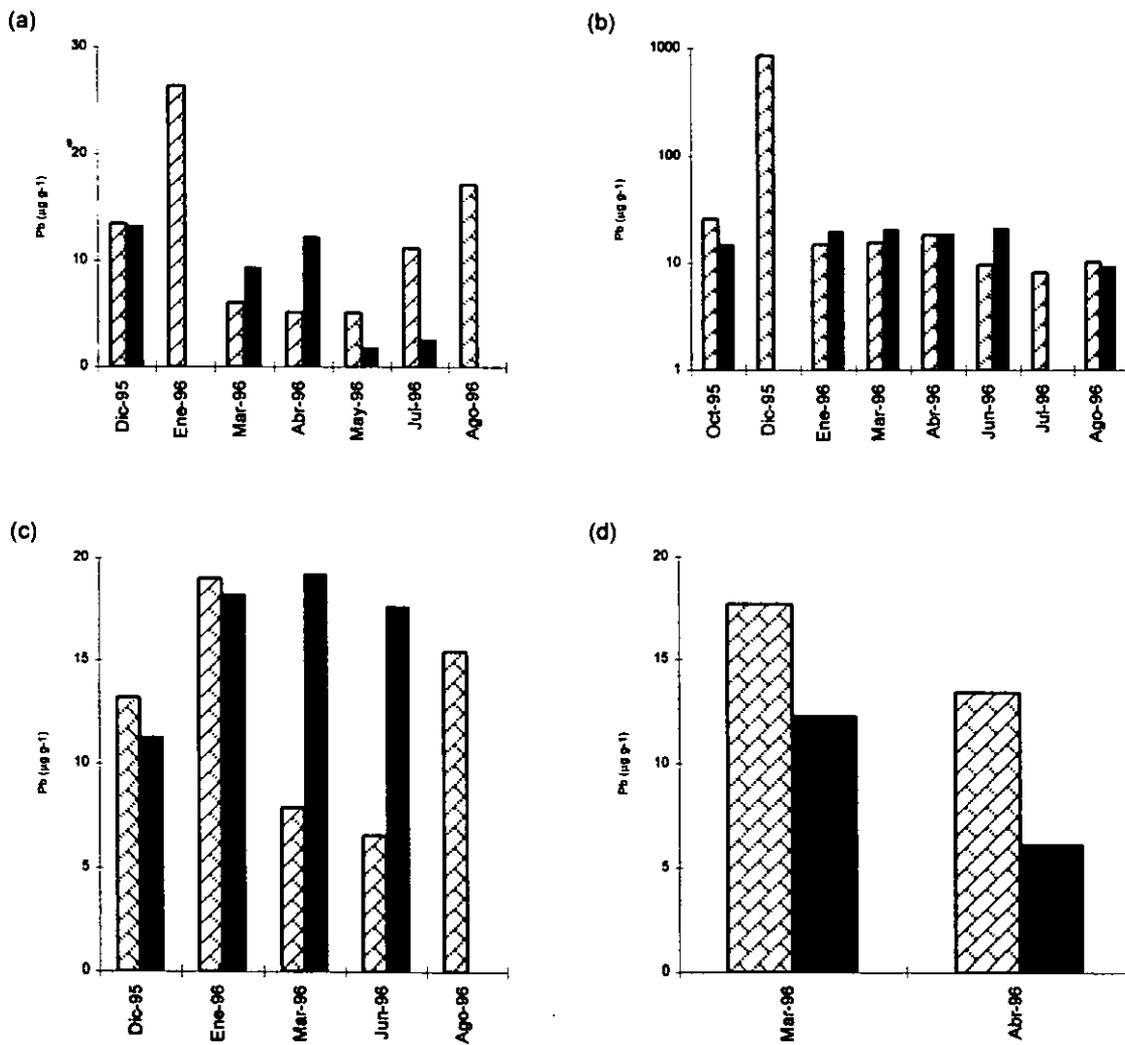


Fig. 22. Concentraciones de Pb en los tejidos blandos (  ) y duro (  ) de (a) *M. coocopoma* de la estación La Puntilla, (b) *B. eburneus* de la estación Puesto Juárez, (c) *B. eburneus* de la estación Muelle Bonfil y (d) *E. dentivarians* de la estación El Espigón.

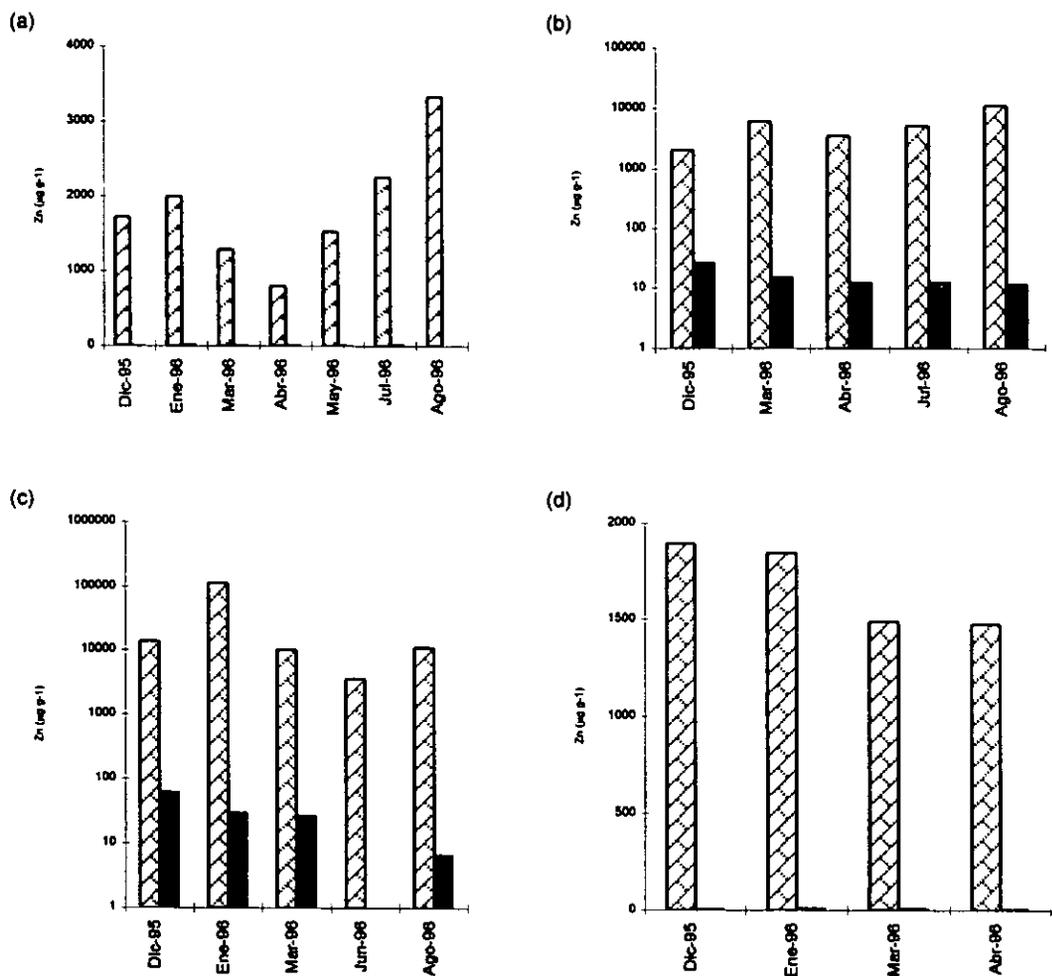


Fig. 23. Concentraciones de Zn en los tejidos blandos (  ) y duro (  ) de (a) *M. coccopoma* de la estación La Puntilla, (b) *B. ebumeus* de la estación Punto Juárez, (c) *B. ebumeus* de la estación Muelle Bonfil y (d) *E. dentivarians* de la estación El Espión.

Para las estaciones La Puntilla y El Espigón no hay un comportamiento definido de las concentraciones. Los valores máximos fueron: en la estación La Puntilla  $3334 \mu\text{g g}^{-1}$  durante agosto de 1996 y en la estación El Espigón  $1894 \mu\text{g g}^{-1}$  durante diciembre de 1995.

Watson *et al.*(1995) encontraron concentraciones máximas de Zn de 94.8 ppm en las conchas del balano Semibalanus balanoides recolectado en la bahía de Dulas en el Reino Unido y concluyeron que si bien los tejidos duros reflejan los niveles del metal en el ambiente, hay otros factores como la variabilidad intrapoblacional y el peso de la concha, que también influyen a la hora de determinar las concentraciones, por lo que no puede considerarse como un buen material de biomonitorio.

#### 5.6 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES EN MOLUSCOS BIVALVOS.

En la figura 24a se observan las concentraciones de Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis proveniente de la estación El Espigón. La concentración del elemento varió desde  $0.87 \mu\text{g g}^{-1}$  durante marzo de 1996 hasta  $1.58 \mu\text{g g}^{-1}$  durante agosto de 1996. En el mismo ostión recolectado en las aguas de Mazatlán, Sinaloa, Páez-Osuna *et al.*(1988) calcularon  $0.4 \mu\text{g g}^{-1}$  de Cd, este valor es similar al límite inferior cuantificado en este estudio. Quizás a este nivel de concentración el Cd es beneficioso para los organismos, Simkiss y Mason (1983), consideran que pudiera convertirse en inhibidor de algunas funciones metabólicas e incluso eventualmente tóxico si la concentración aumenta.

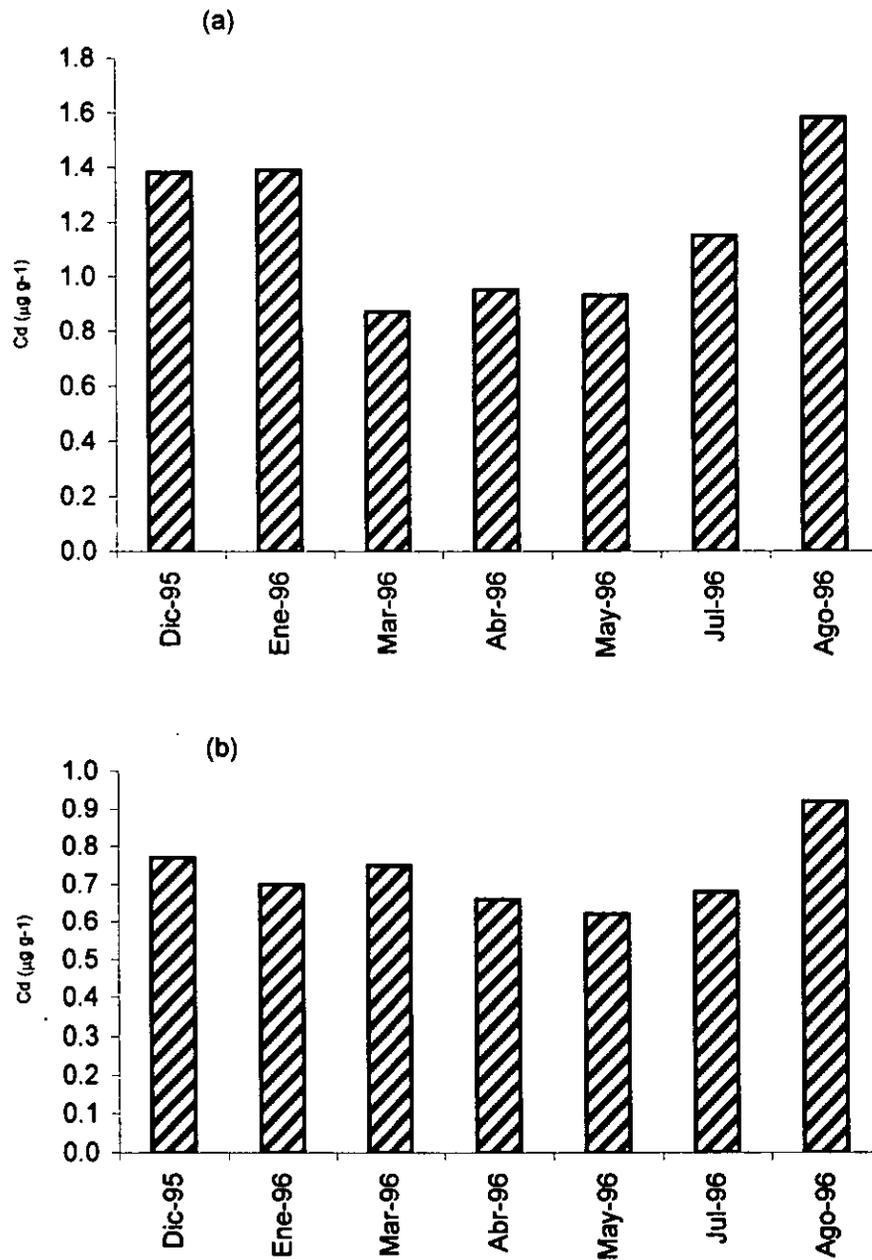


Fig. 24 Concentraciones de Cd en el tejido blando del ostión *C. Cortezensis* (a) y el mejillón *M. strigata* (b) provenientes de la estación El Espigón.

Probablemente, un aspecto determinante en el comportamiento de los niveles de algunos metales sea el grado de desarrollo de los organismos estudiados. La época de desove en el ostión de mangle C. corteziensis se presenta cuando la temperatura del agua es mayor a 25.5 °C, lo cual inicia en los meses de mayo y junio y continúa hasta octubre o noviembre (Páez-Osuna *et al.*, 1993). Walne (1970) estudió la variación estacional del contenido de glicógeno y tejido comestible en siete poblaciones del ostión Ostrea edulis de las costas inglesas, y encontró que en el mes de julio se presenta la época de desove y coincide con el porcentaje mas bajo del contenido de glicógeno en los organismos estudiados. Este aspecto podría influir en el incremento de la concentración de este metal durante el verano.

En la figura 24b se presentan las concentraciones de Cd ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del mejillón Mytella strigata proveniente de la estación El Espigón. Las concentraciones variaron desde 0.62  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante mayo de 1996 hasta 0.92  $\mu\text{g g}^{-1}$  en agosto de 1996. A lo largo del ciclo de muestreo, las concentraciones fueron relativamente constantes con un ligero incremento durante los meses de verano.

Páez-Osuna *et al.* (1988), calcularon 0.2  $\mu\text{g g}^{-1}$  de Cd en el mejillón Mytella strigata de la región costera de Mazatlán. Este valor es similar al calculado en este estudio. Sin embargo, en otro estudio, Phillips y Rainbow (1988) encontraron una concentración de Cd hasta de 1.48  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el mejillón Perna viridis procedente de las aguas contaminadas de Hong Kong durante la primavera de 1986.

En la figura 25a se presentan las concentraciones de Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis procedente de la estación El Espigón. La concentración mínima de Cu fue de 46.6  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante el mes de diciembre de 1995 mientras que el valor máximo se presentó durante julio de 1996 con 1375  $\mu\text{g g}^{-1}$ . En

otras palabras, la concentración de Cu mostró una marcada tendencia a incrementarse durante el verano.

En otro estudio con organismos de esta misma especie recolectados en la parte mas superficial de las raíces de los mangles Rhizophora mangle L. y Laguncularia racemosa Gaertn de la misma zona de estudio, Osuna-López *et al.*(1990) cuantificaron un nivel máximo de  $124.7 \mu\text{g g}^{-1}$  de Cu durante la época otoño-invierno. Por otro lado, Páez-Osuna *et al.*(1988) calcularon una concentración media máxima de  $53.8 \mu\text{g g}^{-1}$  en el ostión de mangle C. corteziensis colectado en cuatro sitios del Puerto de Mazatlán.

De acuerdo a Simkiss y Mason (1983), un elemento es considerado como esencial si reúne las siguientes características: que esté presente en todos los tejidos, que se mantenga a concentraciones constantes, que sea capaz de inducir anomalías fisiológicas si se le excluye del cuerpo, y que pueda remediar dichas condiciones si se readmite en el cuerpo. En base a lo anterior, el Cu es considerado como un elemento esencial para los moluscos puesto que interviene en diversas actividades, como las relacionadas con el metabolismo aeróbico donde forma parte del sistema citocromo que lleva a cabo la transferencia de electrones.

En la figura 25b se muestran las concentraciones de Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del mejillón Mytella strigata procedente de la estación El Espigón. Las concentraciones variaron desde  $15.5 \mu\text{g g}^{-1}$  en agosto de 1996 hasta  $175 \mu\text{g g}^{-1}$  durante abril de 1996, que es cuando la población de mejillón supuestamente se encuentra en estadio de gametogénesis.

En otros estudios, Páez-Osuna *et al.*(1988) encontraron niveles medios del orden de  $12.1 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del mejillón Mytella strigata recolectado en cuatro sitios del Puerto de Mazatlán. Phillips y Rainbow (1988) al trabajar con el tejido

blando del mejillón Perna viridis de las aguas costeras de Hong Kong donde se sabe que existen niveles elevados de Cu, cuantificaron  $219 \mu\text{g g}^{-1}$  en abril de 1986.

En la figura 26a se presentan las concentraciones de Cr ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis proveniente de la estación El Espigón. La concentración de Cr varió desde  $0.27 \mu\text{g g}^{-1}$  durante enero de 1996 hasta  $18.1 \mu\text{g g}^{-1}$  durante julio de 1996.

Comparado con los resultados de Osuna-López *et al.* (1990), quienes trabajaron con el tejido blando del ostión C. corteziensis del mismo cuerpo de agua y obtuvieron niveles de concentración del orden de  $0.7 \mu\text{g g}^{-1}$ , los niveles encontrados en este estudio son muy superiores; quizás hubo contaminación de las muestras (específicamente la correspondiente al mes de julio de 1996), puesto que a lo largo del ciclo de muestreo las fluctuaciones de las concentraciones en los otros meses de muestreo fueron pequeñas y por debajo de los  $2 \mu\text{g g}^{-1}$ .

De acuerdo con Simkiss y Mason (1983), las deficiencias de Cr no impiden que los organismos sobrevivan; para el caso particular de este estudio las concentraciones encontradas probablemente correspondan a los niveles normales en el cuerpo de los moluscos, con excepción del valor de  $18.1 \mu\text{g g}^{-1}$  detectado durante julio de 1996.

En la figura 26b se presentan las concentraciones de Cr ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del mejillón Mytella strigata proveniente de la estación El Espigón. Las concentraciones variaron desde  $0.26 \mu\text{g g}^{-1}$  en mayo de 1996 hasta  $1.78 \mu\text{g g}^{-1}$  durante abril de 1996.

En otro estudio, Phillips y Rainbow (1988) trabajaron con el tejido blando del mejillón Perna viridis procedente de las aguas costeras contaminadas de Hong Kong y cuantificaron una concentración media de  $37.6 \mu\text{g g}^{-1}$  de Cr durante la primavera de 1986.

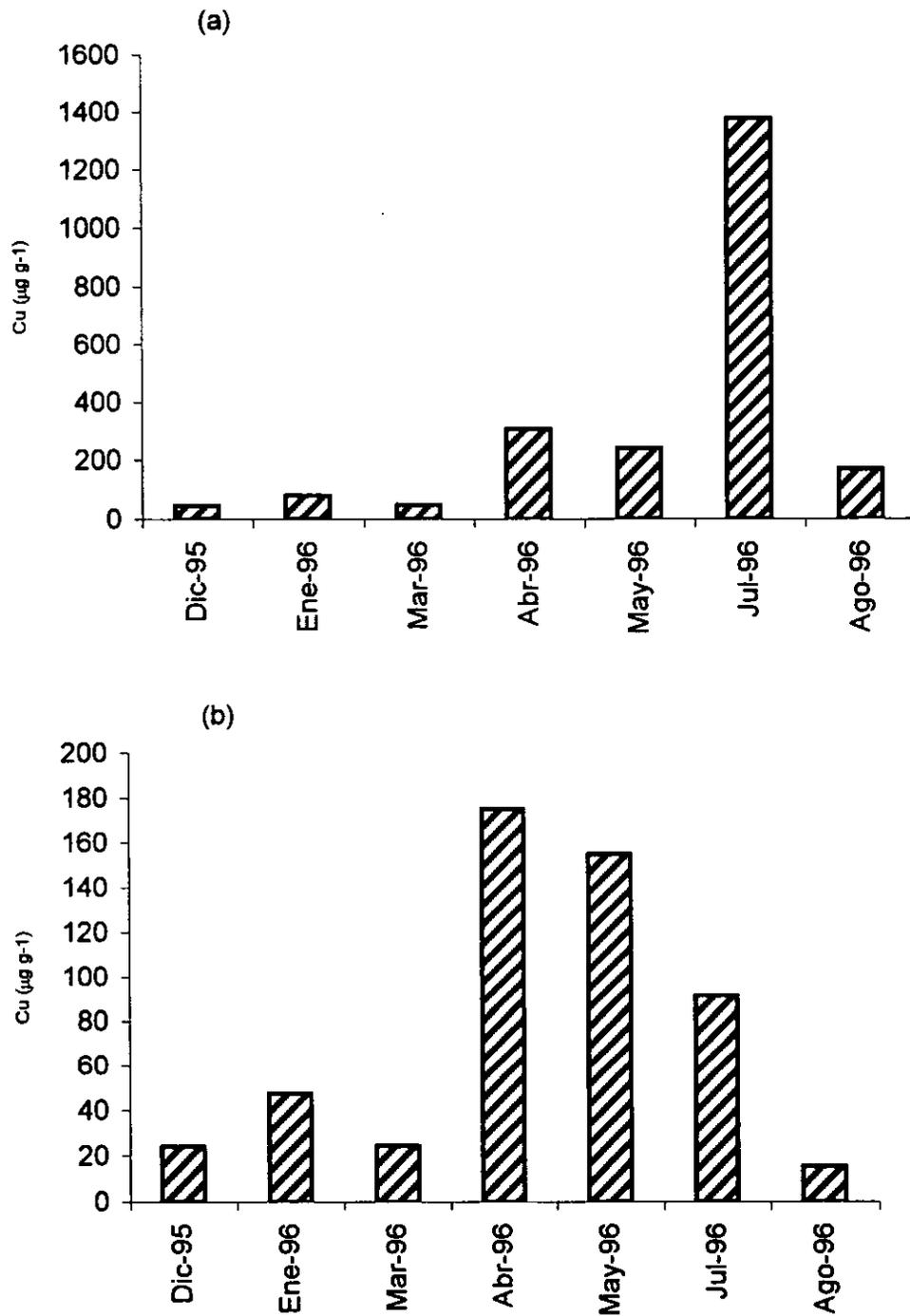


Fig. 25 Concentraciones de Cu en el tejido blando del ostión *C. Cortezziensis* (a) y el mejillón *M. strigata* (b) provenientes de la estación El Espigón.

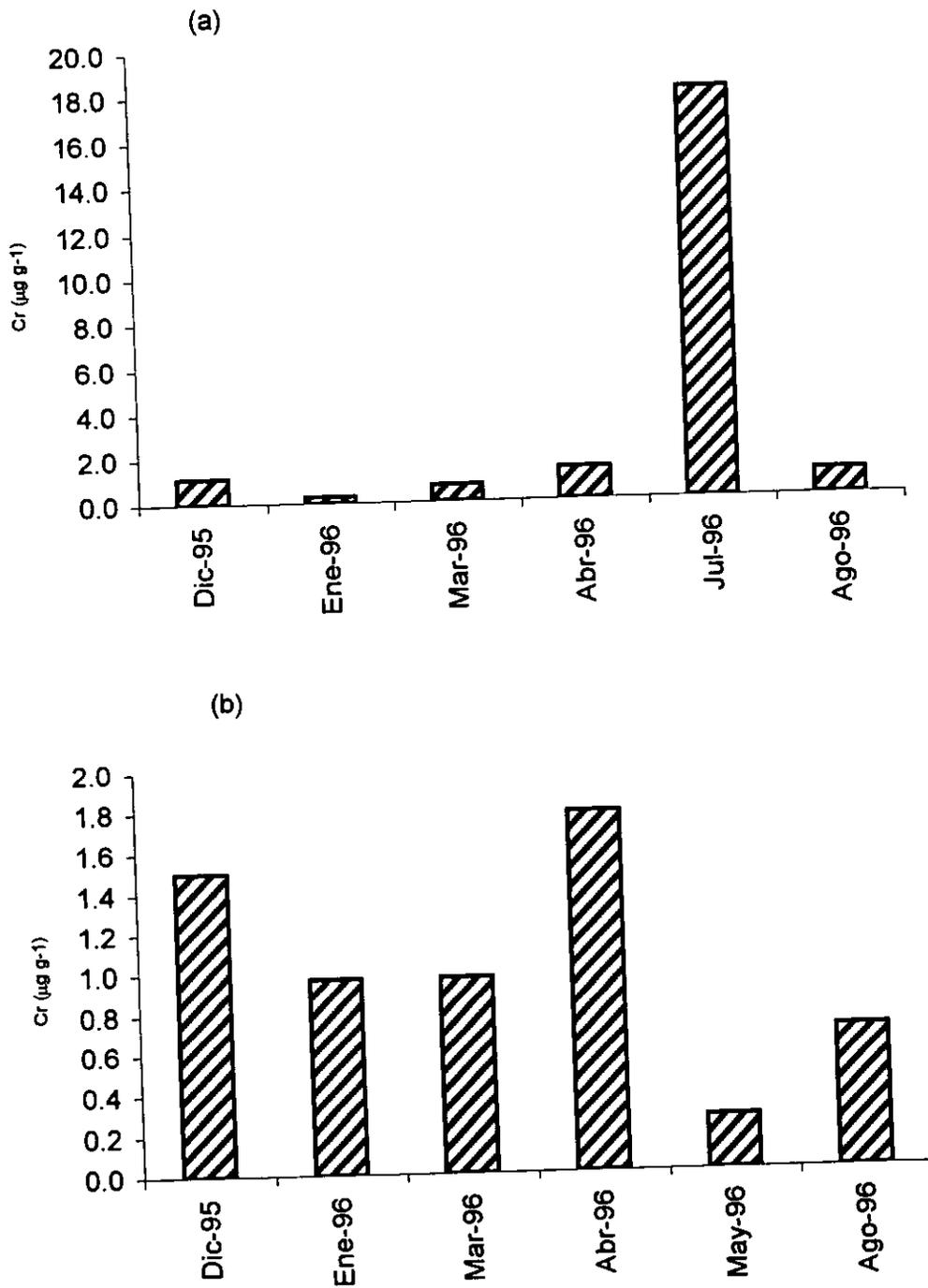


Fig. 26 Concentraciones de Cr en el tejido blando del ostión *C. Cortezensis* (a) y el mejillón *M. strigata* (b) provenientes de la estación El Espigón.

En la figura 27a se presentan las concentraciones de Fe ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis procedente de la estación El Espigón.

El valor más elevado de Fe fue de  $416 \mu\text{g g}^{-1}$  durante enero de 1996, mientras que el valor más bajo alcanzó  $126 \mu\text{g g}^{-1}$  durante mayo de 1996.

El Fe es considerado como un elemento esencial para los moluscos y uno de los criterios para ubicarlo así es que se mantiene a una concentración bastante constante (Simkiss y Mason, 1983); de acuerdo con esto, es probable que los niveles de concentración que se dan sean los normales, con excepción del valor correspondiente al invierno cuando quizás se presentó un enriquecimiento puntual que se reflejó en el tejido blando del organismo.

Páez-Osuna *et al.*(1988) a partir de los muestreos de los meses de enero, marzo y mayo de 1987 calcularon una concentración media de Fe de  $202 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del ostión de mangle Crassostrea corteziensis del mismo cuerpo de agua; este valor es muy similar a los que aquí se detectaron con excepción del dato correspondiente a la época de invierno.

En la figura 27b se presentan las concentraciones de Fe ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del mejillón Mytella strigata procedente de la estación El Espigón. La concentración más elevada se presentó durante enero de 1996 con un valor de  $674 \mu\text{g g}^{-1}$  y la concentración menor fue de  $114 \mu\text{g g}^{-1}$  durante julio de 1996. Este elemento se considera como esencial para los moluscos y actúa a nivel de metaloenzimas (Simkiss y Mason, 1983).

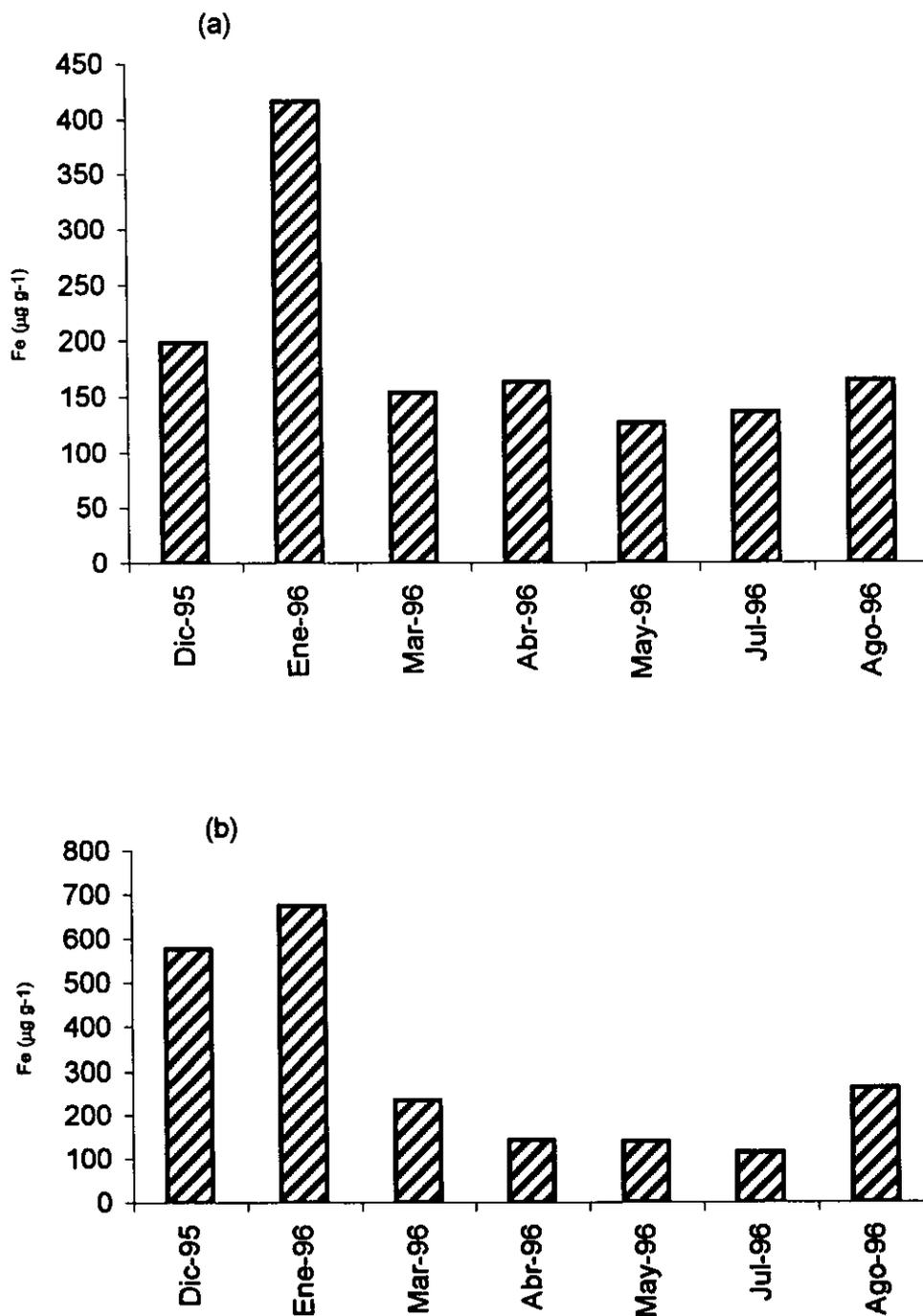


Fig. 27 Concentraciones de Fe en el tejido blando del ostión *C. Cortezensis* (a) y el mejillón *M. strigata* (b) provenientes de la estación El Espigón.

En un estudio con el mejillón M. strigata procedente de la región costera de Mazatlán, Páez-Osuna *et al.*(1988) encontraron en los organismos recolectados una concentración media de 498  $\mu\text{g g}^{-1}$  de Fe, valor que queda comprendido dentro del intervalo de concentraciones encontrado en el presente estudio.

En la figura 28a se presentan las concentraciones de Mn ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis proveniente de la estación El Espigón.

A lo largo del estudio, las concentraciones de Mn variaron desde 18.4  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante mayo de 1996 hasta 52.7  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el muestreo de diciembre de 1995. En otro estudio, Páez-Osuna *et al.*(1988), cuantificaron una concentración media de Mn de 12.3  $\mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis a partir de los muestreos de los meses de enero, marzo y mayo de 1987 en cuatro sitios de muestreo a lo largo del Estero de Urías en Mazatlán.

Este metal también es considerado como esencial por Simkiss y Mason (1983); en el ostión "gigante" Crassostrea gigas, donde actúa como coenzima en la piruvato kinasa.

En la figura 28b se presentan las concentraciones de Mn ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del mejillón Mytella strigata proveniente de la estación El Espigón. Los valores de concentración variaron desde 21.6  $\mu\text{g g}^{-1}$  en abril de 1996 hasta 134  $\mu\text{g g}^{-1}$  durante agosto de 1996.

En otro estudio, Páez-Osuna *et al.*(1988) calcularon 31  $\mu\text{g g}^{-1}$  de Mn en el mejillón Mytella strigata procedente de la misma área y localidad de estudio solo que de la margen contraria.

Los valores encontrados en este estudio son del mismo orden que los presentados por Páez-Osuna *et al.*(1988).

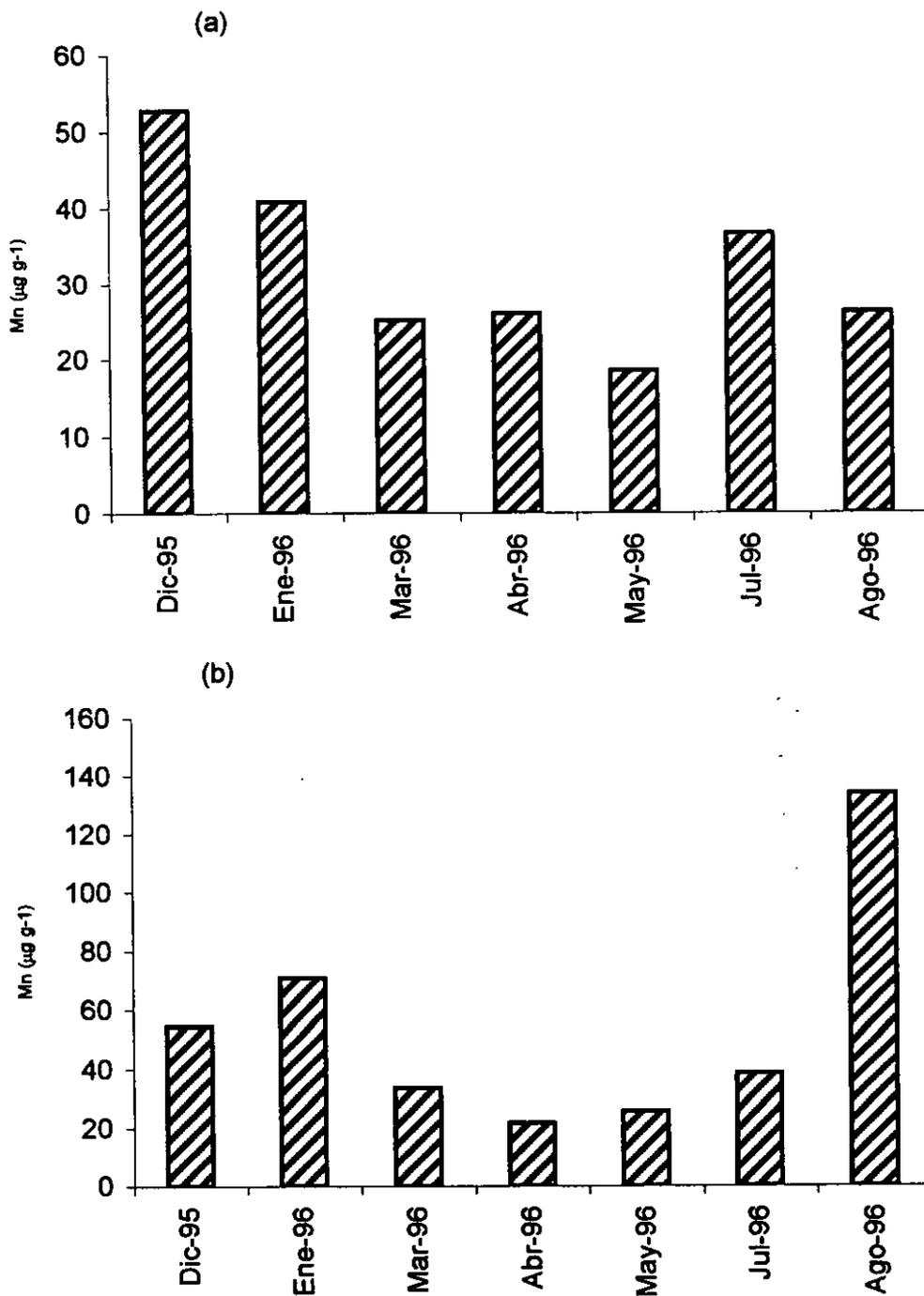


Fig. 28 Concentraciones de Mn en el tejido blando del ostión *C. Corteziensis* (a) y el mejillón *M. strigata* (b) provenientes de la estación El Espigón.

En la figura 29a se presentan las concentraciones medias de Ni ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis proveniente de la estación El Espigón. La concentración de Ni varió desde  $3.56 \mu\text{g g}^{-1}$  durante marzo de 1996 hasta  $11.9 \mu\text{g g}^{-1}$  para los muestreos de diciembre de 1995 y enero de 1996. Es decir, presentó un patrón ascendente en los meses de invierno y descendente en los muestreos de primavera-verano.

Osuna-López *et al.*(1990) calcularon una concentración media anual de níquel del orden de los  $4.8 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del ostión de mangle Crassostrea corteziensis proveniente de una estación ubicada en la cabeza del estero de Urías. De acuerdo a Simkiss y Mason (1983), existen algunos metales como el Ni que no son considerados como esenciales, sin embargo los organismos que sufren deficiencia de este elemento no viven completamente sanos.

En la figura 29b se presentan las concentraciones de Ni ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del mejillón Mytella strigata proveniente de la estación El Espigón. Los valores de concentración variaron desde  $6.22 \mu\text{g g}^{-1}$  durante enero de 1996 hasta  $17.1 \mu\text{g g}^{-1}$  en mayo de 1996.

En otro estudio llevado a cabo en la misma región, Páez-Osuna *et al.*(1988) cuantificaron  $8.1 \mu\text{g g}^{-1}$  de Ni en el mejillón Mytella strigata, mientras que en un sitio contaminado y con alta biodisponibilidad de Ni en las aguas costeras de Hong Kong, Chan *et al.*(1986) cuantificaron para este metal  $7.6 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del mejillón Perna viridis durante abril de 1986.

En la figura 30a se observan las concentraciones de Ag ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis proveniente de la estación El Espigón.

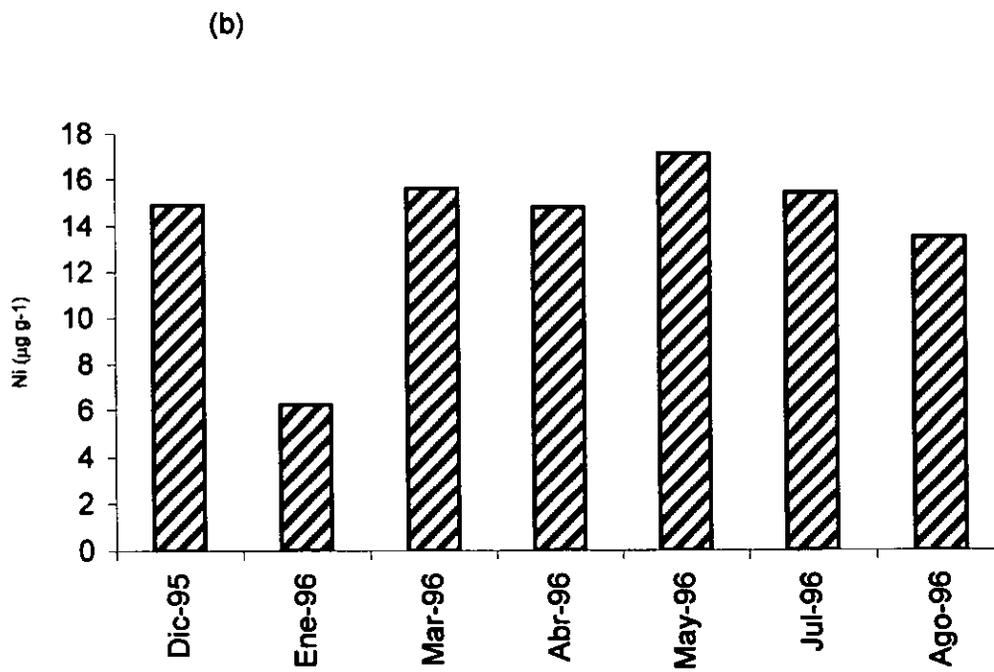
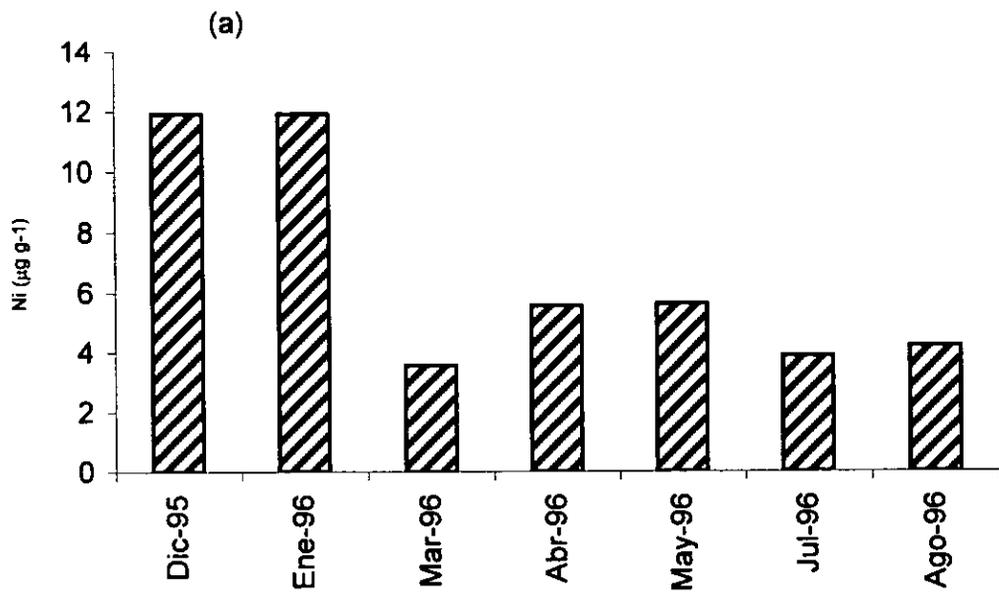


Fig. 29 Concentraciones de Ni en el tejido blando del ostión C. Corteziensis (a) y el mejillón M. strigata (b) provenientes de la estación El Espigón.

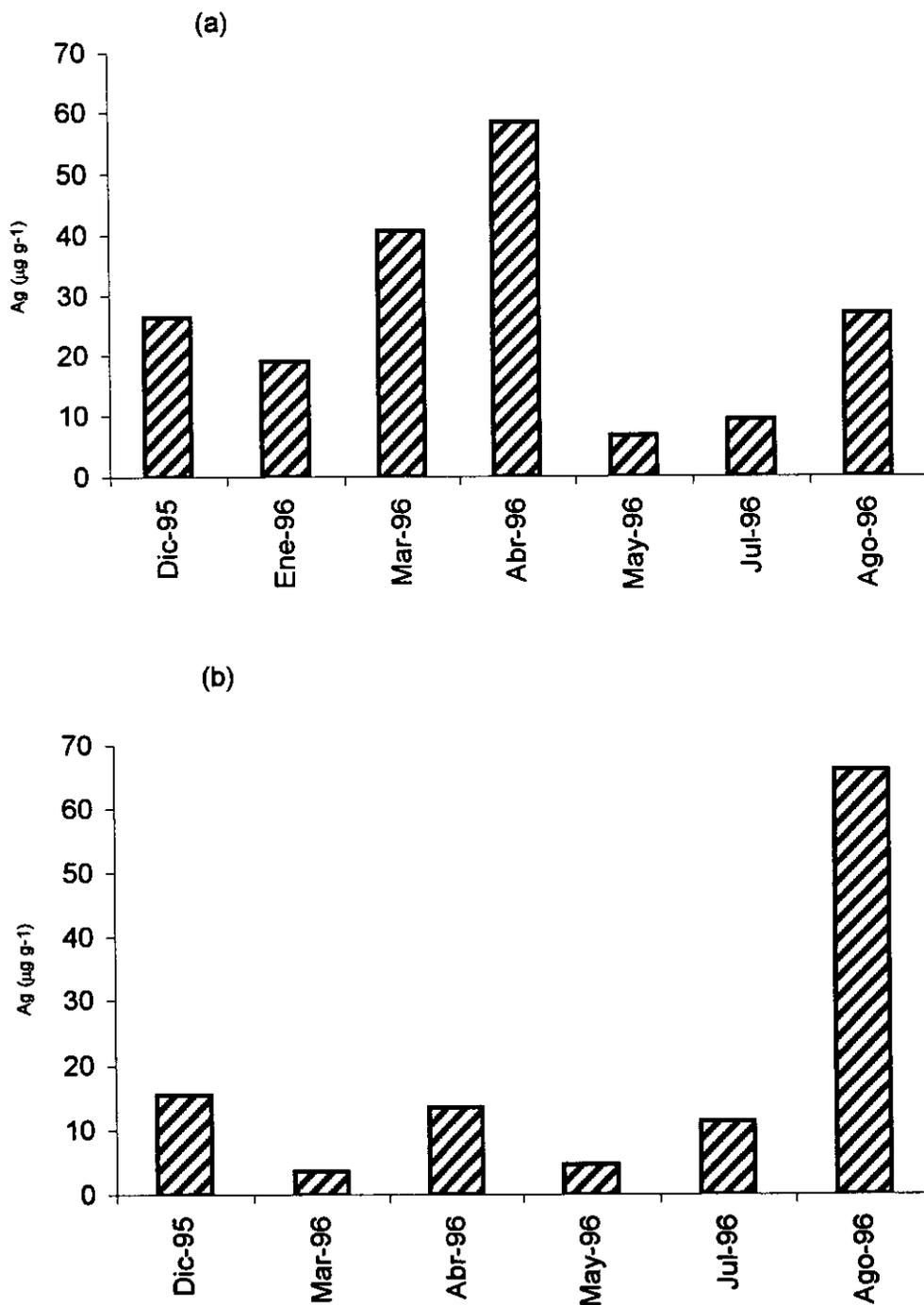


Fig. 30 Concentraciones de Ag en el tejido blando del ostión *C. Cortezensis* (a) y el mejillón *M. strigata* (b) provenientes de la estación El Espigón.

Los niveles de Ag a lo largo del estudio fueron como sigue: en abril de 1996 se detectaron  $58.3 \mu\text{g g}^{-1}$  y en mayo del mismo año  $6.6 \mu\text{g g}^{-1}$ .

En la figura 30b se muestran las concentraciones de Ag ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del mejillón Mytella strigata proveniente de la estación El Espigón.

Las concentraciones variaron desde  $3.6 \mu\text{g g}^{-1}$  durante marzo de 1996 hasta  $66 \mu\text{g g}^{-1}$  en agosto de 1996. Como se puede observar, no hay una correspondencia en las fluctuaciones de las concentraciones de los dos bivalvos a lo largo del año por lo que presumiblemente existan diferencias en los mecanismos de incorporación y acumulación de este metal entre los dos organismos puesto que se recolectaron en el mismo sitio.

En la figura 31a se presentan las concentraciones de Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis proveniente de la estación El Espigón. A lo largo del ciclo de muestreo las concentraciones extremas fueron: en julio de 1996 se detectaron  $23.3 \mu\text{g g}^{-1}$ , mientras que en mayo del mismo año solo se alcanzaron  $0.18 \mu\text{g g}^{-1}$ .

En otros estudios Osuna-López *et al.*(1990) y Páez-Osuna *et al.*(1988) detectaron una concentración media de  $1.8 \mu\text{g g}^{-1}$  de Pb en Crassostrea corteziensis de la región costera de Mazatlán.

En la figura 31b se presentan las concentraciones de Pb ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del mejillón Mytella strigata proveniente de la estación El Espigón. Durante el estudio las concentraciones extremas fueron:  $13.3 \mu\text{g g}^{-1}$  en abril de 1996 y en agosto del mismo año  $0.41 \mu\text{g g}^{-1}$ .

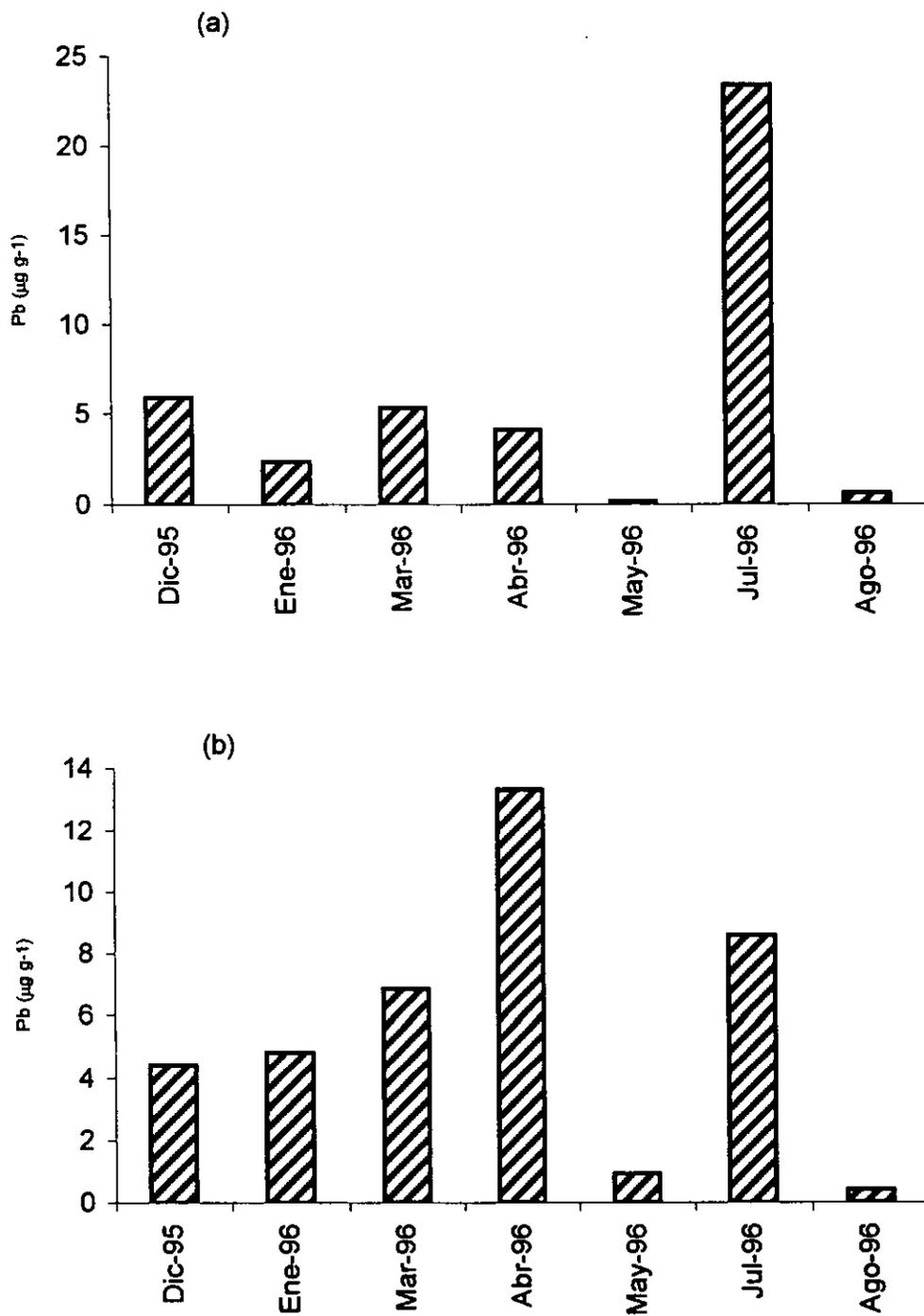


Fig. 31 Concentraciones de Pb en el tejido blando del ostión *C. Corteziensis* (a) y el mejillón *M. strigata* (b) provenientes de la estación El Espigón.

Para el mismo cuerpo lagunar, Páez-Osuna *et al.*(1988) calcularon un valor de  $11.7 \mu\text{g g}^{-1}$  de Pb en el mejillón Mytella strigata, mientras que Chan *et al.*(1986) encontraron una concentración de Pb de  $47.8 \mu\text{g g}^{-1}$  en base al peso seco del mejillón Perna viridis durante la primavera de 1986 en las aguas costeras de Hong Kong que exhiben una alta biodisponibilidad de este metal.

En el comportamiento de las concentraciones de Pb en ambos bivalvos se puede observar cierto antagonismo a lo largo del muestreo, lo cual probablemente es un indicio de la diferente eficiencia de acumulación de este metal en sus tejidos.

En la figura 32a se presentan las concentraciones de Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis proveniente de la estación El Espigón.

Se encontró un valor máximo de concentración en el mes de agosto de 1996 con  $2951 \mu\text{g g}^{-1}$  y un valor mínimo durante abril de 1996 con  $769 \mu\text{g g}^{-1}$ , es decir, la concentración máxima es aproximadamente 4 veces mayor que la concentración mínima.

Páez-Osuna *et al.*(1988) midieron  $1068 \mu\text{g g}^{-1}$  de Zn en Crassostrea corteziensis procedente de la región costera de Mazatlán. En otro estudio, Osuna-López *et al.*(1990) encontraron  $2368 \mu\text{g g}^{-1}$  de Zn en Crassostrea corteziensis del mismo cuerpo de agua.

Según Simkiss y Mason (1983), el Zn está considerado como un elemento esencial para los moluscos, y algunas de sus actividades principales están relacionadas con la formación de metaloenzimas como la malatodeshidrogenasa en el ostión Ostrea edulis Linné, 1758 y la anhidrasa carbónica en el mejillón Mytilus edulis, además de la alcalino fosfatasa en el molusco

Cardium edule Linné, 1758 y la lactato deshidrogenasa en Haliotis tuberculata.

En la figura 32b se muestran las concentraciones de Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$  en peso seco) a lo largo del ciclo de muestreo en el tejido blando del mejillón Mytella strigata proveniente de la estación El Espigón. Las concentraciones de Zn variaron desde  $46.3 \mu\text{g g}^{-1}$  durante julio de 1996 hasta  $79.2 \mu\text{g g}^{-1}$  en el mes de agosto de 1996.

En un estudio previo en el mismo cuerpo de agua, Páez-Osuna *et al.* (1988) calcularon un valor medio de Zn de  $26 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del mejillón Mytella strigata recolectado durante los meses de enero, marzo y mayo de 1987; mientras que Phillips y Rainbow (1988) encontraron una concentración media de Zn de  $153 \mu\text{g g}^{-1}$  en el tejido blando del mejillón Perna viridis recolectado en las aguas contaminadas de las costas de Hong Kong en abril de 1986.

Como se observa en la tabla 13, las concentraciones en este estudio están en el mismo orden de magnitud que las dadas en otros estudios.

La presencia del Zn en los moluscos es importante, forma parte de algunas enzimas (metaloenzimas) como la anhidrasa carbónica en Mytilus edulis y la malato deshidrogenasa en Ostrea edulis. Simkiss y Mason (1983) consideran al Zn como un elemento esencial en los moluscos, es decir, su ausencia podría inducir anormalidades fisiológicas en el organismo.

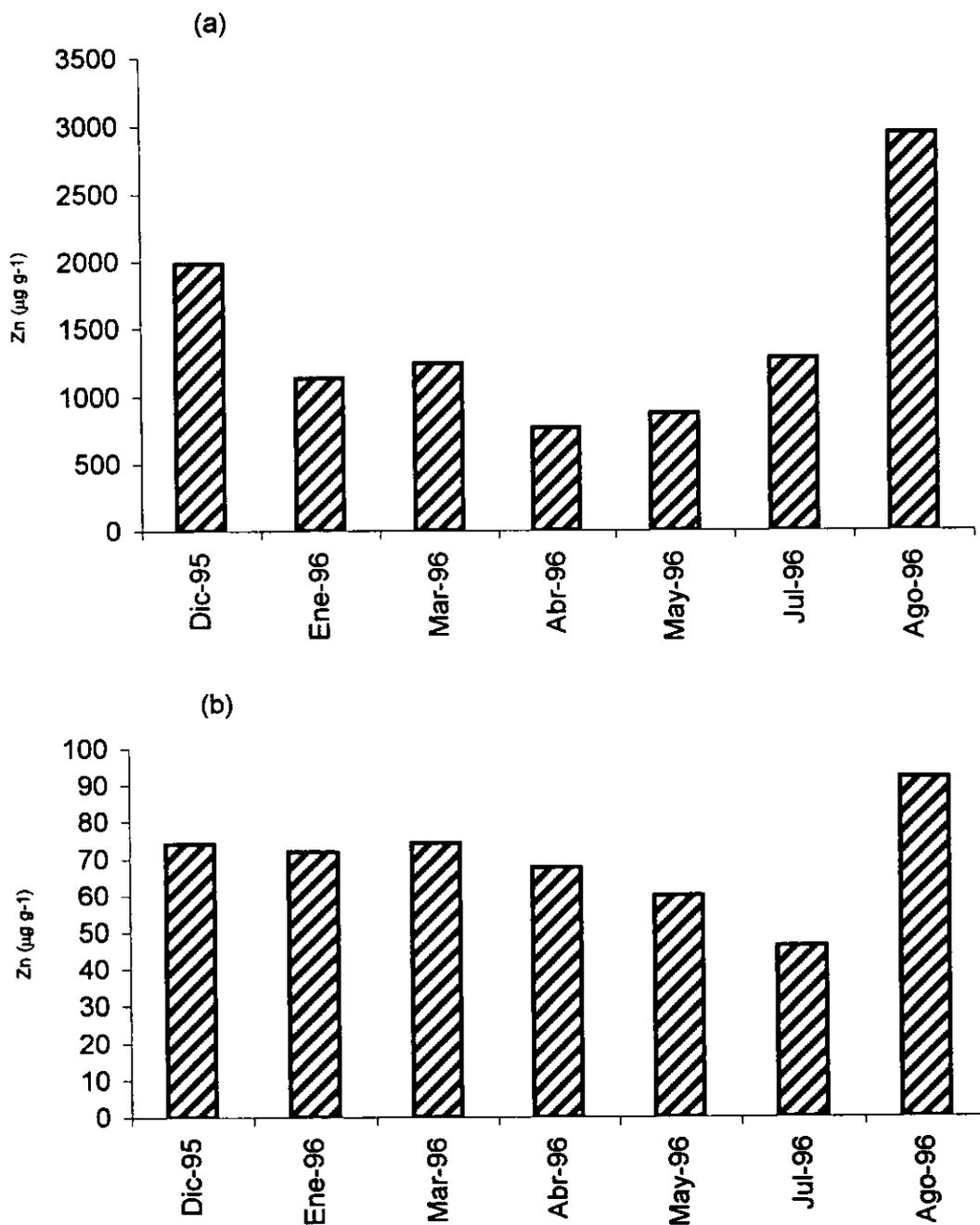


Fig. 32 Concentraciones de Zn en el tejido blando del ostión *C. Cortezensis* (a) y el mejillón *M. strigata* (b) provenientes de la estación El Espigón.

## 6 CONCLUSIONES

- En virtud de la alta diversidad de especies en ambientes localizados en latitudes tropicales, es difícil llevar a cabo estudios de biomonitoreo monoespecíficos; en el caso de los balanos, las especies mejor representadas en el puerto de Mazatlán fueron Balanus eburneus, Megabalanus coccopoma y Fistulobalanus dentivarians.
- En los balanos estudiados, las variaciones en la talla están muy relacionadas con los cambios en el peso fresco; en los especímenes provenientes de tres de las cuatro estaciones consideradas las curvas que mejor describen las relaciones peso-talla son de tipo potencial ( $y = x^{cte.}$ ).
- En el mejillón, existe una buena correlación entre el peso fresco y la talla; la curva que mejor describe este comportamiento también es de tipo potencial ( $y = x^{cte.}$ ).
- La variación del peso húmedo con respecto a la talla en el ostión de mangle muestra una correlación baja, debido quizás al crecimiento irregular de la longitud del organismo, la curva que mejor describe este comportamiento es de tipo exponencial ( $y = e^x$ ).
- Dentro de una misma especie de balano, para todos los metales excepto el Mn, las concentraciones en los tejidos blandos son más elevadas que en los tejidos duros.
- El tejido duro de los balanos no se considera como un buen material para estudios de biomonitoreo de metales pesados, puesto que no refleja la biodisponibilidad de estos elementos en el ambiente del cual provienen los organismos.

- En orden decreciente, las especies de balanos en las que se detectaron las mayores concentraciones de metales fueron Balanus eburneus, localizado entre la boca y la cabeza lagunar, Megabalanus coccopoma localizado cerca de la boca lagunar y Fistulobalanus dentivarians en la cabeza del cuerpo de agua.
- Para un mismo sitio de muestreo, el tejido blando del balano Fistulobalanus dentivarians presentó concentraciones más altas de Cd, Ni, Pb y Zn que las de los bivalvos Crassostrea corteziensis y Mytella strigata, lo cual indica que el balano es mejor acumulador de estos metales.
- Al comparar las concentraciones de metales en los balanos de las cuatro estaciones de muestreo, el Zn fue el elemento que presentó las concentraciones más elevadas.
- Las concentraciones de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn son comparables a las encontradas por otros autores en organismos del género Balanus provenientes de lugares contaminados y moderadamente contaminados.
- Las concentraciones medias de Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb y Zn en el tejido blando del mejillón Mytella strigata son del mismo orden de magnitud que las encontradas por otros autores en el mejillón Mytilus edulis recolectado en las costas de Canadá y Perna viridis proveniente de las aguas costeras de Hong Kong.
- En el tejido blando del ostión Crassostrea corteziensis las concentraciones de Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn son comparables a las registradas en otros estudios para ostiones del Pacífico Mexicano.
- De manera general, las concentraciones más elevadas de metales se presentaron durante los meses de invierno en los tejidos blandos de los balanos.

- Para los moluscos bivalvos, generalmente las concentraciones más elevadas de metales se presentaron en la temporada de verano.
- En el caso del balano Balanus eburneus la comparación estadística de la concentración promedio de Ni en organismos provenientes de las estaciones Muelle Bonfil y Puente Juárez es diferente con un nivel de significancia del 5%, siendo mayor en la primera estación.
- Se observa una correlación significativa entre las dos especies de moluscos estudiadas solamente para el caso del Fe, lo cual indica que las concentraciones de este metal en el ostión varían proporcionalmente con las concentraciones en el mejillón, y ello implica que no obstante tratarse de dos especies diferentes, estas acumulan en la misma proporción este elemento.
- Se requiere llevar a cabo estudios de bioensayos con ostiones y mejillones para verificar el grado de acumulación de Fe, lo cual esta fuera del alcance de este trabajo.
- Considerando que las concentraciones de metales en las aguas del Puerto de Mazatlán estacionalmente sufren variaciones reducidas, los diferentes metales y el peso seco medio individual en los balanos muestran funciones de tipo polinomial, observándose que en el Cd y el Fe los niveles disminuyen al incrementarse el peso, y en el caso del Zn sucede lo contrario. En el mejillón, a mayor peso seco mayor concentración de Cr y Zn, ocurriendo lo opuesto con el Cu. Para el ostión, a mayor peso seco mayor concentración de Cu, Cr y Pb, ocurriendo la tendencia contraria con el Fe.

## 7. LITERATURA CITADA.

- Álvarez-León R. 1977. Estudio hidrobiológico de los esteros del Astillero, Urías y La Sirena, adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. Tesis de Maestría, CCH, UACPyP, ICMYL, UNAM. 131 pp.
- Álvarez-León R. 1980. Hidrología y zooplancton de tres esteros adyacentes a Mazatlán, Sinaloa, México. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 7(1): 177-195.
- Anil A. G. y A. B. Wagh. 1988. Accumulation of copper and zinc by Balanus amphitrite in a tropical estuary. Marine Pollution Bulletin. 19(4): 177-180.
- Barbaro A., A. Francescon, B. Polo y M. Bilio. 1978. Balanus amphitrite (Cirripedia: Thoracica)- A potencial indicator of fluoride, copper, lead, chromium and mercury in north Adriatic lagoons. Marine Biology. 46: 247-257.
- Barnes R. D. 1974. Invertebrate Zoology. W. B. Saunders Company. U.S.A. 870 pp.
- Bourgoin B. P. 1990. Mytilus edulis shell as a bioindicator of lead pollution: considerations on bioavailability and variability. Marine Ecology Progress Series. 61:253-262.
- Boyden C.R. 1977. Effect of size upon metal content of shellfish. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 57: 675-714.
- Brusca R. C. 1980. Common Intertidal Invertebrates of the Gulf of California. The University of Arizona Press. U.S.A. 513 pp.

- Bryan G.W. y E. Ward. 1965. The absorption and loss of radioactive and non-radioactive manganese by the lobster Homarus vulgaris. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. 45: 65-95
- Bryan G. W., W. J. Langston y L. G. Hummerstone. 1980. The use of biological indicators of heavy-metal contamination in estuaries. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, Occasional Publication number 1.
- Bryan G. W., W. J. Langston, L. G. Hummerstone y G. R. Burt. 1985. A guide to the assessment of heavy-metal contamination in estuaries using biological indicators. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. Occasional Publication number 4.
- Chan H. M., P. S. Rainbow y D. J. H. Phillips. 1986. Barnacles and mussels as monitors of trace metal bio-availability in Hong Kong waters. Proceedings of the Second International Marine Biological Workshop: The Marine Flora and Fauna of Hong Kong and Southern China, Hong Kong.
- Cortés-Altamirano R. y N. Pastén-Miranda. 1982. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del estero Urías, Sin. México. I. Período primaveral 1980. Revista Latinoamericana de Microbiología. 24:103-114.
- Cortés-Altamirano R. y N. Pastén-Miranda. 1982. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del estero Urías, Sin. México. II. Período de verano 1980. Revista Latinoamericana de Microbiología. 24:297-308.
- Cortés-Altamirano R. y N. Pastén-Miranda. 1984. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del estero Urías, Sin. México. III. Período de otoño 1980. Revista Latinoamericana de Microbiología. 26:353-363.

Cortés-Altamirano R. y N. Pastén-Miranda. 1985. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton del estero Urías, Sin.

México. IV. Período de invierno 1980. Revista Latinoamericana de Microbiología. 27:123-133.

Crisp D.J. 1960. Factors influencing growth-rate in Balanus balanoides. J. Animal Ecology. 29: 95-116

Dirección de Estadística y Estudios Económicos de la Secretaría de Hacienda Pública y Tesorería del Gobierno del Estado de Sinaloa. 1985. Síntesis monográfica del municipio de Mazatlán. 92 pp.

Elliot N. G., D. A. Ritz y R. Swain. 1985. Interaction between copper and zinc accumulation in the barnacle Elminius modestus Darwin. Marine Environmental Research. 17: 13-17.

Foster R. P. y J. Chacko. 1995. Minor and trace elements in the shell of Patella vulgata (L.). Marine Environmental Research. 40(1): 55-76.

Goldberg E. D. 1976. The Health of the Oceans. The UNESCO Press. 172 pp.

García A. E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Offset Larios. México. 71 pp.

GESAMP (IMO/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine environmental Protection) 1995: Biological indicators and their use in the measurement of the condition of the marine environment. Report Study. GESAMP.

- Hellawell J. M. 1986. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier Applied Science. England. 546 pp.
- Heredia-Ochoa L. G., J. H. Mexía-Machado y L. M. Hernández-Pérez. 1988. Estudio de la contaminación por plaguicidas en camarón *Penaeus* sp. y en agua del estero de Urias, Mazatlán, Sinaloa, México. Memoria Profesional. Escuela Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa. 63 pp.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1995. Censo de población y vivienda. Resultados Preliminares. Estados Unidos Mexicanos. 301 pp.
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. 1994. Estudio Estratégico del Sur de Sinaloa. Centro de Estudios Estratégicos-Campus Mazatlán.
- International Atomic Energy Agency. 1987. Intercalibration of analytical methods on marine environmental samples. Results of the worldwide intercomparison run. Progress report No. 34. Mónaco. 27 pp.
- Keen A. M. 1971. Sea Shells of Tropical West America. Second Edition. Stanford University Press, Stanford, California. U.S.A. 1064 pp.
- Laguna J. 1985. Systematics, Ecology and Distribution of Barnacles (Cirripedia: Thoracica) of Panama, including an analysis of Provincialism in the Tropical Eastern Pacific. Master of Science Thesis. University of California- San Diego.
- Lankford R. A. 1977. Coastal lagoons of Mexico. Their origin and classification. *In*: Estuarine Processes. Wiley, M. (Ed.), Academic Press, New York, II: 183-215.

- Marmolejo-Rivas C. y F. Páez-Osuna. 1990. Trace metals in tropical coastal lagoon bivalves, Mytella strigata. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 45: 545-551.
- Miller J. C. y J. N. Miller. 1988. Statistics for Analytical Chemistry. Ellis Horwood Limited. England. 227 pp.
- Montaño-Ley Y. y F. Páez-Osuna. 1990. Estudio preliminar del régimen hidráulico del puerto de Mazatlán, Sinaloa, México. Geofísica Internacional. 29 (4): 237-247.
- Moody J. R. y R. N. Lindstrom. 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element samples. Analytical Chemistry. 49: 2264-2267.
- National Academy of Sciences. 1980. The International Mussel Watch. Washington, D. C. U.S.A. 248 pp.
- Newman W. A. y A. Ross. 1976. Revision of the Balanomorph Barnacles; including a catalog of the species. Memoir 9. San Diego Society of Natural History. U.S.A. 108 pp.
- Newman W. A. y R. R. McConnaughey. 1987. A Tropical Eastern Pacific Barnacle, Megabalanus coccopoma (Darwin), in Southern California, following El Niño 1982-83. Pacific Science. 41(1-4).
- Osuna-López J. I., F. Páez-Osuna y P. Ortega-Romero. 1986. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. Ciencias Marinas. 12(2): 35-45.
- Osuna-López J. I., F. Páez-Osuna, C. Marmolejo-Rivas y P. Ortega-Romero. 1989. Metales pesados disueltos y particulados en el puerto de Mazatlán. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. U.N.A.M. 16(2): 224-230.

- Osuna-López J. I., H. M. Zazueta-Padilla, A. Rodríguez-Higuera y F. Páez-Osuna. 1990. Trace metal concentrations in mangrove oyster (Crassostrea corteziensis) from tropical coastal lagoon environments, Mexico. Marine Pollution Bulletin. 21(10): 486-488.
- Páez-Osuna F. 1996. Fuentes de metales en la zona costera marina. p. 297-308. *In*: A.V. Botello, J.L.Rojas-Galaviz, J.A. Benítez, D. Zárate-Lomelí (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 5. 666pp.
- Páez-Osuna F., G. Izaguirre-Fierro, R. I. Godoy-Meza, F. González-Farías y J. I. Osuna-López. 1988. Metales pesados en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: Técnicas de extracción y niveles de concentración. Contaminación ambiental. 4(1): 33-41.
- Páez-Osuna F. y C. Marmolejo-Rivas. 1990. Occurrence and seasonal variation of heavy metals in the oyster Saccostrea iridescens. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 44(1):129-134.
- Páez-Osuna F. y C. Marmolejo-Rivas. 1990. Trace metals in tropical coastal lagoon bivalves, Crassostrea corteziensis. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 45: 538-544.
- Páez-Osuna F., Y. Montaña-Ley y H. Bojórquez-Leyva. 1990. Intercambio de agua, fósforo y material suspendido entre el sistema lagunar del puerto de Mazatlán y las aguas costeras adyacentes. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 6: 19-32.

- Páez-Osuna F., H. M. Zazueta-Padilla y G. Izaguirre-Fierro. 1991. Trace metals in bivalves from Navachiste Lagoon, Mexico. Marine Pollution Bulletin. 22 (6): 305-307.
- Páez-Osuna F., J.I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro y H. M. Zazueta-Padilla. 1993. Heavy metals in oysters from a subtropical coastal lagoon associated with an agricultural drainage basin. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 50: 696-702.
- Páez-Osuna F., J.I. Osuna-López, G. Izaguirre-Fierro y H. M. Zazueta-Padilla. 1994. Trace metals in mussels from the Ensenada del Pabellón Lagoon, Mexico. Marine Pollution Bulletin. 28 (2): 124-126
- Páez-Osuna F., H. Bojórquez-Leyva y L. H. Pérez-Bernal. 1995. Concentración de metales pesados en el ostión de cultivo Crassostrea corteziensis durante un evento de mortandad masiva. Ciencias del Mar. UAS. 14:15-18.
- Páez-Osuna F. y L. Tron-Mayen. 1995. Distribution of heavy metals in tissues of the shrimp Penaeus californiensis from the northwest coast of Mexico. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 55(2): 209-215.
- Páez-Osuna F., H. M. Zazueta-Padilla y J. I. Osuna-López. 1993. Biochemical composition of the oysters Crassostrea iridescens Hanley and Crassostrea corteziensis Hertlein in the Northwest Coast of Mexico: seasonal changes. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 170: 1-9.
- Peña-García A. y S. W. Fowler. 1972. Análisis de microelementos en invertebrados marinos del Golfo de California. Memorias del IV Congreso Nacional de Oceanografía. México. 115-126.

- Phillips D. J. H. 1976. The common mussel Mytilus edulis as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper.I. Effects of environmental variables on uptake of metals. Marine Biology. 38:59-69.
- Phillips D. J. H. 1977. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments- a review. Environmental Pollution. 13: 281-317.
- 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.
- Phillips D. J. H. 1990. Use of macroalgae and invertebrates as monitors of metal levels in estuaries and coastal waters. In: R. W. Furness and P. S. Rainbow (eds.) Heavy metals in the marine environment, CRC Press, Boca Raton, Florida. 81-99.
- Phillips D. J. H. 1991. Selected trace elements and the use of biomonitors in subtropical and tropical marine ecosystems. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. 120: 105-129.
- Phillips D. J. H. y P. S. Rainbow. 1988. Barnacles and mussels as monitors of trace elements: a comparative study. Marine Ecology Progress Series. 49: 83-93.
- Phillips D. J. H. y P. S. Rainbow. 1993. Biomonitoring of trace aquatic contaminants. Elsevier Applied Science, London.
- Powell M. I. y K. N. White. 1990. Heavy metal accumulation by barnacles and its implications for their use as biological monitors. Marine Environmental Research. 30: 91-118.

- Priego B. C. 1985. Contribución al conocimiento de la composición fitoplanctónica del estero de Urías y la bahía de Mazatlán, Sinaloa. Tesis Profesional. Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Guadalajara. 62 pp.
- Pritchard D. W. 1967. What is an estuary: physical viewpoint. *In*: Lauf, G. H. (Ed.) *Estuaries*. American Association for the Advancement of Science Publications. 83: 3-5.
- Rainbow P. S. 1985. Accumulation of Zn, Cu and Cd by crabs and barnacles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 21: 669-686.
- Rainbow P. S. 1987. Barnacle Biology *In*: Southward, A.J.(Ed.) *Crustacean Issues 5*. A. A. Balkema. Netherlands. 443 pp.
- Rainbow P. S. 1993. Biomonitoring of marine heavy metal pollution and its application in Hong Kong waters. *Proceedings of the First International Conference on the Marine Biology of Hong Kong and the South China Sea*. Hong Kong University Press.
- Rainbow P. S. y B. D. Smith. 1992. Biomonitoring of Hong Kong coastal trace metals by barnacles, 1986-1989. *Proceedings of the Fourth International Marine Biological Workshop: The Marine Flora and Fauna of Hong Kong and Southern China*. Hong Kong University Press.
- Rainbow P. S. y D. J. H. Phillips. 1993. Cosmopolitan biomonitors of trace metals (Review). *Marine Pollution Bulletin*. 26(11): 593-601.
- Rainbow P. S., H. Zongguo, Y. Songkai y B. D. Smith. 1993. Barnacles as biomonitors of trace metals in the coastal waters near Xiamen, China. *Asian Marine Biology*. 10: 109-121.

- Robles-Jarero E. G. 1985. Productividad primaria del Fitoplancton y Distribución Temporo-Espacial de Pigmentos Fotosintéticos (Clorofila "a" y Feopigmentos) en el estero de Urías, durante un ciclo anual (Septiembre 1982-Agosto 1983). Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Guadalajara. 76 pp.
- Secretaría de Marina. 1974. Estudio Geográfico de la Región de Mazatlán, Sinaloa. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo. México. 351 pp.
- Secretaría de Marina. 1988. Carta Náutica S. M. 368. Portulano de Mazatlán Esc. 1:7500. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo.
- Simkiss K. and A. Z. Mason. 1983. Metal ions: metabolic and toxic effects. *In*: Wilbur K. M. (Ed). *The Mollusca, Environmental Biochemistry and Physiology*. Vol. 2. Academic Press. U.S.A. 361 pp.
- Swaileh K. M. y D. Adelung. 1994. Levels of trace metals and effect of body size on metal content and concentration in Arctica islandica L. (Mollusca: Bivalvia) from Kiel Bay, Western Baltic. Marine Pollution Bulletin. 28 (8): 500-505.
- Szefer P., K. Ikuta, S. Kushiyama, K. Frelek y J. Geldon. 1997. Distribution of trace metals in the Pacific oyster, Crassostrea gigas, and crabs from the east coast of Kyushu Island, Japan. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 58:108-114.
- Walker G. P. S. Rainbow, P. Foster y D. J. Crisp. 1975a. Barnacles: possible indicators of zinc pollution? Marine Biology. 30: 57-65.

- Walker G. P. S. Rainbow, P. Foster y D. L. Holland. 1975b. Zinc phosphate granules in tissue surrounding the midgut of the barnacle Balanus balanoides. Marine Biology. 33: 161-166.
- Walne P. R. 1970. The seasonal variation of meat and glycogen content of seven populations of oysters Ostrea edulis L. and a review of the literature. Fishery Investigations. Series II, 27 (3).
- Wangersky P.J. 1961. Manganese in Ecology *In*: Proceedings of the First National Symposium of Radioecology, Fort Collins, Colorado, 1961, New York. 499-508.
- Watson D., P. Foster y G. Walker. 1995. Barnacle Shells as Biomonitoring Material. Marine Pollution Bulletin. 31 (1-3): 111-115
- White K. N. y G. Walker. 1981. Uptake, accumulation and excretion of zinc by the barnacle, Balanus balanoides (L.). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 51: 285-298.
- Zullo V. A., D. B. Beach y J. T. Carlton. 1972. New Barnacle Records (Cirripedia, Thoracica). Proceedings of the California Academy of Sciences. Fourth Series. Vol. 39 (6): 65-74.