

Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela

Heavy metals in the clam *Tivela mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) from coastal localities with different degrees of contamination in Venezuela

Vanessa Acosta^{1*}

César Lodeiros²

¹ Departamento de Biología
Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente
Cumaná 6101, Edo. Sucre, Venezuela
* E-mail: vacosta@sucre.udo.edu.ve

² Laboratorio de Acuicultura
Departamento de Biología Pesquera
Instituto Oceanográfico de Venezuela
Universidad de Oriente
Cumaná 6101, Edo. Sucre, Venezuela

Recibido en octubre de 2003; aceptado en diciembre de 2003

Resumen

Se compararon las concentraciones de metales pesados (manganeso, hierro, zinc, cobre, cadmio, cromo y plomo) en tejidos y conchas de juveniles (13 ± 2.2 mm), organismos de talla mediana con capacidad reproductiva (25 ± 4.1 mm) y adultos (35 ± 1.2 mm) de la almeja *Tivela mactroides*, procedentes de la costa de Venezuela: Playa Güiría en el litoral del nordeste, la cual no mostró indicios de perturbación ambiental; y Río Chico y Boca de Paparo, en el litoral central, influenciadas por el Río Tuy con indicios de perturbación ambiental. La concentración de metales pesados estuvo relacionada proporcionalmente con el tamaño de la concha, estableciéndose diferencias significativas entre las diferentes poblaciones y las tallas evaluadas. Los organismos pertenecientes a las poblaciones de Boca de Paparo y Río Chico presentaron las mayores concentraciones de metales tanto en los tejidos como en sus conchas, en contraste con los niveles registrados por los organismos pertenecientes a Playa Güiría, en donde además no fueron detectados cromo ni plomo. Los altos valores de metales registrados en los tejidos de las poblaciones de Boca de Paparo y Río Chico, fueron posiblemente de origen antrópico provenientes del Río Tuy. Las condiciones ambientales presentes en Boca de Paparo pudieron facilitar, en gran medida, el proceso de bioacumulación de la mayoría de los metales pesados en los tejidos de los organismos. La población de Playa Güiría, sin embargo, mostró valores ubicados dentro de los intervalos de carácter natural. Nuestros resultados muestran que *T. mactroides* presentó una acumulación de metales relacionada con la perturbación ambiental de las localidades evaluadas, lo cual sugiere la utilización de *T. mactroides* como indicador de metales pesados del litoral donde habitan.

Palabras clave: metales pesados, almeja, bivalvos, bioindicador, costas de Venezuela.

Abstract

We compared heavy metal levels (manganese, iron, zinc, cadmium, copper, chromium, and lead) in tissues and shells of juveniles (13 ± 2.2 mm), medium-size organisms with mature gonads (25 ± 4.1 mm), and adults (35 ± 1.2 mm) of the clam *Tivela mactroides* from three different locations along the Venezuelan coast: Playa Güiría, on the northeastern coast, was not affected by environmental pollution, but Río Chico and Boca de Paparo, influenced by the Tuy River on the central coast, were. Heavy metal concentrations were related to shell size, with significant differences among populations and shell sizes. Specimens from Boca de Paparo and Río Chico had the highest heavy metal concentrations in tissues and shells, in contrast with the levels found in specimens from Playa Güiría, in which chromium and lead were absent. The high heavy metal concentrations found in tissues from specimens collected at Boca de Paparo and Río Chico were possibly of anthropogenic origin and generated by the Tuy River. The environmental conditions at Boca de Paparo may have favored the bioaccumulation of most heavy metals in specimen tissues. At Playa Güiría, however, the heavy metal concentrations were found to be within a natural range. Our results show that *T. mactroides* is a good biological indicator of the presence of heavy metals in the littoral waters they inhabit.

Key words: heavy metals, clams, bivalves, bioindicator, Venezuelan seacoast.

Introducción

En las costas se realizan intercambios de materiales entre el medio terrestre y el acuático, siendo los ríos las principales vías de transporte, ya que vierten todo el material acarreado a lo largo de su cuenca, aportando una gran variedad de contaminantes, principalmente metales pesados (Guillén, 1982; Mogollón y Bifano, 1985; Zhang, 1992). De esta manera, las costas con influencia de ríos constituyen uno de los ecosistemas más proclives a ser afectados debido a que la mayor parte de los contaminantes, cuando entran en contacto con la zona marina, no son degradados o su degradación es muy lenta, lo que da origen a una acumulación constante en los sedimentos y organismos con una acción directa sobre las especies acuáticas, muchas de las cuales tienden a desaparecer, mientras que otras inician un proceso de acumulación.

El estudio de la concentración de metales en los ecosistemas acuáticos es de gran interés, ya que éstos pueden llegar a producir efectos negativos sobre la biota acuática debido a que son altamente persistentes. Su peligrosidad radica en que pueden ser tóxicos en pequeñas concentraciones y también ser acumulados en la cadena trófica, empezando por el fitoplancton que los incorpora a la cadena alimenticia (Gaad y Griffiths, 1987; Ke y Wang, 2002). También pueden producir un efecto de biomagnificación en los niveles más altos de la cadena ya que, al ser los organismos de estos niveles parte en la dieta del hombre, constituyen un riesgo para la salud humana (Sadiq, 1992).

Un grupo de organismos que han sido ampliamente utilizados para estimar el grado y efecto de los metales pesados en los ecosistemas marinos son los moluscos bivalvos, debido a la capacidad que tienen de tolerar, acumular y depurar altas concentraciones de contaminantes (Phillips, 1976; Páez-Ozuna *et al.*, 1995; Usero *et al.*, 1996; Phillips y Rainbow, 1997). Un buen ejemplo lo representan los mejillones de aguas templadas *Mytilus edulis*, subtropicales *M. galloprovincialis* y tropicales *Perna viridis* (Beaumont *et al.*, 1987; Pavic *et al.*, 1994; Hoare *et al.*, 1995; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999; Ke y Wang, 2002; Rojas *et al.*, 2002; Gutiérrez-Galindo y Muñoz-Barbosa, 2003); y las ostras, *Crassostrea virginica* y *C. gigas*, las cuales han sido empleadas en programas de evaluación del efecto tóxico de contaminantes (Scanes, 1996). Además, estos organismos son recomendados como alternativos a los análisis de sedimento y agua, ya que ofrecen información sobre la fracción biodisponible de metales pesados.

Una especie tropical que puede ser empleada como indicadora de contaminación es la almeja o guacuco, *Tivela mactroides*, bivalvo que presenta una amplia distribución en las playas de alta energía del Caribe; es capaz de resistir amplios rangos de temperatura y de salinidad, es fácilmente colectable y temporalmente disponible, por su reproducción continua (Acosta, 2001). En tal sentido, se evaluaron los niveles de metales pesados (manganeso, hierro, zinc, cobre, cadmio, cromo y plomo) en tejidos y conchas de juveniles,

Introduction

Along marine coasts, there is a constant exchange of material between land and sea. Rivers are main vehicles of transportation, delivering into the sea all the material dragged from their basins, as well as a wide variety of contaminants, mostly heavy metals (Guillén, 1982; Mogollón and Bifano, 1985; Zhang, 1992). Therefore, coasts influenced by rivers are highly susceptible ecosystems, because most contaminants are not degraded or degrade very slowly when they come into contact with the marine zone, and their constant accumulation in sediments and organisms has a direct effect on marine species in which many of them tend to disappear, while others bioaccumulate it.

The study of metal concentrations in marine ecosystems is important. They are highly persistent and dangerous to the marine biomass because they can be toxic in weak concentrations. Metals can also be accumulated throughout the entire trophic web, starting with phytoplankton and moving through the food chain (Gaad and Griffiths, 1987; Ke and Wang, 2002); they can then induce a biomagnification effect at the highest levels of the chain and become a hazard when incorporated into the human diet (Sadiq, 1992).

Bivalve mollusks, a group of organisms that have been widely used to evaluate the effect of heavy metals on aquatic ecosystems, have the ability to tolerate, accumulate and purify high concentrations of contaminants (Phillips, 1976; Páez-Ozuna *et al.*, 1995; Usero *et al.*, 1996; Phillips and Rainbow, 1997). They are well represented by mussels such as *Mytilus edulis* in temperate waters, *M. galloprovincialis* in subtropical waters, and *Perna viridis* in tropical waters (Beaumont *et al.*, 1987; Pavic *et al.*, 1994; Hoare *et al.*, 1995; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999; Ke and Wang, 2002; Rojas *et al.*, 2002; Gutiérrez-Galindo and Muñoz-Barbosa, 2003), and by oysters such as *Crassostrea virginica* and *C. gigas*, which have been used in programs to evaluate the toxic effect of contaminants (Scanes, 1996). These organisms are also recommended as an alternative to sediment and water analysis, as they provide information about the bioavailable fraction of heavy metals.

A tropical species that may be used as an indicator of contamination is the clam *Tivela mactroides*. This bivalve is widely distributed on high-energy beaches in the Caribbean and can adapt to wide ranges of temperature and salinity; it is easy to collect and always available owing to its continuous reproduction (Acosta, 2001). We thus evaluated the concentrations of heavy metals (manganese, iron, zinc, cadmium, copper, chromium, and lead) in tissues and shells of juveniles, medium-size organisms with maturing gonads, and adults of *T. mactroides* from three different locations on the coast of Venezuela.

medianos y adultos en tres poblaciones de *T. mactroides* procedentes de ambientes con diferentes niveles de contaminación ambiental.

Materiales y métodos

Áreas de estudio y muestreo de organismos

Se seleccionaron tres poblaciones de *T. mactroides* procedentes de litorales de alta energía de Venezuela con diferentes niveles de contaminación (Acosta *et al.*, 2002). Una de estas localidades, Playa Güiria (en el nororiente de Venezuela, Estado Sucre; 10°45'55"N, 63°20'55"W), se encuentra influenciada por afloramientos periódicos (Tata, 1984), y allí la almeja o guacuco soporta una intensa pesquería artesanal constituyendo un importante sustento económico en la zona (Prieto, 1983; Ramírez, 1993; Tata y Prieto, 1993). Las otras dos localidades, Río Chico y Boca de Paparo (ambas en la costa central de Venezuela, Estado Miranda; 10°23'N, 65°58'W y 10°23'N, 65°56'W, respectivamente), se encuentran separadas por unos 5 km y presentan altas concentraciones de sólidos suspendidos provenientes de los aportes del Río Tuy que desemboca directamente en Boca de Paparo. Esta zona está contaminada tanto biológica, como orgánica e inorgánicamente (MARN, 1985; Leal, 1992; Jaffé *et al.*, 1995; Acosta *et al.*, 2002). En las tablas 1 y 2 se muestra una relación de factores ambientales y niveles de metales pesados en sedimento de las localidades estudiadas, previamente publicados por Acosta *et al.* (2002).

A mediados de julio de 1999, en cada localidad se realizó una colecta de las almejas compuesta por tres réplicas, utilizando una rastra manual conformada por un esqueleto metálico de 40 cm de largo por 37 cm de ancho y una altura de 12 cm aproximadamente. Su esqueleto estaba cubierto por una malla plástica con luz media de 15 mm y que cumple la función de saco, reteniendo las almejas. La boca de la rastra tenía aproximadamente 37 cm de largo por 12 cm de altura. Las muestras

Materials and methods

Study areas and organism sampling

We selected three populations of *T. mactroides* from high-energy beaches with different levels of contamination (Acosta *et al.*, 2002). The first location, Playa Güiria (in northeastern Venezuela, State of Sucre; 10°45'55"N, 63°20'55"W), is influenced by periodical upwelling (Tata, 1984); here, clams are intensely exploited and constitute an important economic resource for the region (Prieto, 1983; Ramírez, 1993; Tata and Prieto, 1993). The other two locations, Río Chico and Boca de Paparo (both on the central coast of Venezuela, State of Miranda; 10°23'N, 65°58'W and 10°23'N, 65°56'W, respectively), are separated by approximately 5 km and show high concentrations of suspended solids that come from the Tuy River, which flows directly into Boca de Paparo. This zone is affected by biological, organic and inorganic contamination (MARN, 1985; Leal, 1992; Jaffé *et al.*, 1995; Acosta *et al.*, 2002). A relation of environmental factors and heavy metal levels in the sediment of these locations is presented in tables 1 and 2 (data taken from Acosta *et al.*, 2002).

In mid-July 1999, we collected samples of clams (with three replicas) in each location, using a manual dragnet made with a metal frame approximately 40 cm long, 37 cm wide and 12 cm high. A plastic net (mesh size of 15 mm) that retains the clams covered the frame. The dragnet opening was approximately 37 cm wide and 12 cm high. The samples were placed in polyethylene bags and transported in isothermal containers to the laboratory for further heavy metal analysis.

Analysis of heavy metals and metal concentrations

We selected representative organisms for each size: juveniles (13 ± 2.2 mm), medium-size or juveniles with

Tabla 1. Factores ambientales registrados en las localidades de Playa Güiria (Edo. Sucre), Río Chico y Boca de Paparo (Edo. Miranda). Datos tomados de Acosta *et al.* (2002).

Table 1. Environmental factors recorded for Playa Güiria (Edo. Sucre), Río Chico and Boca de Paparo (Edo. Miranda), Venezuela. Data taken from Acosta *et al.* (2002).

Factores ambientales	Playa Güiria	Río Chico	Boca de Paparo
Temperatura (°C)	24.08 ± 0.512	28.11 ± 0.031	29.33 ± 0.05
Salinidad (psu)	36.51 ± 0.051	35.23 ± 0.047	33.67 ± 0.039
Clorofila <i>a</i> (µg L ⁻¹)	3.63 ± 0.137	2.26 ± 0.212	3.66 ± 0.191
Oxígeno disuelto (mL L ⁻¹)	7.76 ± 0.052	5.69 ± 0.031	4.98 ± 0.043
Seston total (g L ⁻¹)	0.50 ± 0.002	0.56 ± 0.003	0.86 ± 0.004
Seston orgánico (%)	0.07 ± 0.003	0.15 ± 0.002	0.23 ± 0.002
Potencial hidrógeno (pH)	8.02 ± 0.005	7.88 ± 0.004	7.04 ± 0.003
Nitrógeno total (µmol L ⁻¹)	18.99 ± 1.089	59.95 ± 1.175	93.75 ± 1.095
Fósforo total (µg mol L ⁻¹)	8.87 ± 1.895	18.75 ± 2.578	51.69 ± 3.878

Tabla 2. Concentración ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) de metales pesados en el sedimento superficial de las localidades de Playa Güiría (Edo. Sucre), Río Chico y Boca de Paparo (Edo. Miranda). Datos tomados de Acosta *et al.* (2002).**Table 2.** Heavy metal concentrations ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) in the surface sediment of Playa Güiría (Edo. Sucre), Río Chico and Boca de Paparo (Edo. Miranda), Venezuela. Data taken from Acosta *et al.* (2002).

Metales ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Playa Güiría	Río Chico	Boca de Paparo
Mn	18.95 ± 1.18	75.28 ± 17.86	78.20 ± 25.44
Fe	200.00 ± 9.35	396.00 ± 8.13	1317.50 ± 78.85
Zn	161.10 ± 34.57	200.00 ± 40.63	163.25 ± 27.88
Cu	0.08 ± 0.49	19.98 ± 0.24	92.30 ± 13.12
Cd	0.20 ± 0.001	0.40 ± 0.05	4.48 ± 4.08
Cr	ND	5.23 ± 0.04	47.50 ± 2.42
Pb	ND	0.38 ± 0.05	7.98 ± 2.41
Ni	ND	10.97 ± 1.03	46.09 ± 2.58

fueron colocadas en bolsas de polietileno y transportadas en contenedores isotérmicos hasta el laboratorio para su posterior análisis de metales pesados

Análisis de metales pesados y concentración de metales

Se seleccionaron organismos representativos de cada talla: juveniles (13 ± 2.2 mm), medianos o juveniles con capacidad reproductiva (25 ± 4.1 mm) y adultos (35 ± 1.2 mm). A las almejas se les eliminó todo el material adherido en la superficie de la concha y posteriormente fueron lavadas varias veces con agua desionizada para evitar posibles contaminantes externos. Previo a los análisis los organismos se mantuvieron en agua de mar filtrada y aireada por un día a fin de eliminar los residuos existentes en el contenido estomacal de las almejas.

De cada población se obtuvieron tres grupos de 10 organismos por cada una de las tallas establecidas, a los cuales se les separó la concha y el tejido. Cada compartimiento fue colocado en una estufa a 80°C por 72 h hasta obtener peso constante. Los tejidos y las conchas fueron pulverizados por separado, y se utilizó 1 g de tejido seco de cada muestra para los análisis. Los tejidos fueron sometidos a una digestión con una mezcla de 75 mL de HNO_3 , 50 mL de HCL y 25 mL de HClO_4 , más 5 mL de agua desionizada, mientras que las conchas fueron digeridas con 5 mL de ácido nítrico más 5 mL de agua desionizada. Ambas muestras fueron calentadas a 100°C /4 h. La cuantificación de los metales pesados (manganeso, hierro, zinc, cobre, cadmio, cromo y plomo) en tejidos y conchas se realizó por absorción atómica utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer (Mod. 3110) con llama de aire-acetileno y corrector de fondo de deuterio, método estandarizado para la determinación de metales pesados. La precisión del método utilizado fue verificada para determinar la calidad de los procedimientos analíticos empleados, analizando cada 10 muestras estándares de referencia de tejido (NIST Oyster tissue 1566a) y encontrando valores de desviación estándar muy bajos y comparables entre las diferentes determinaciones.

reproductive capacity (25 ± 4.1 mm), and adults (35 ± 1.2 mm). All the material stuck to the clamshells was removed. They were then washed several times with deionized water to avoid possible external contaminants. Before analysis, to eliminate existing residues in their stomach, organisms were kept in seawater that had been filtered and aired for one day.

We selected three groups of 10 organisms for each size. The tissue was separated from the shell. Each compartment was placed in an oven at 80°C for 72 h until constant weight was obtained. Tissues and shells were pulverized separately and, for each sample, 1 g of dry tissue was used for the analysis. The tissues were digested in an acid mixture of 75 mL HNO_3 , 50 mL HCL and 25 mL HClO_4 , plus 5 mL of deionized water, while the shells were digested in 5 mL of nitric acid plus 5 mL of deionized water. Both samples were heated at 100°C for 4 h. The levels of heavy metals (manganese, iron, zinc, cadmium, copper, chromium, and lead) in tissues and shells were determined by atomic absorption with a Perkin Elmer spectrophotometer (Mod. 3110) with an air-acetylene flame and deuterium corrector, which is the standardized method to determine heavy metals. The accuracy of our method was verified to determine the quality of our analytical procedures and for every 10 samples, we analyzed tissue reference standards NIST Oyster Tissue 1566a. The standard deviation values were very low and similar.

Statistical analysis

To determine differences among heavy metal levels in tissues and shells of each population, we applied a two-way analysis of variance, establishing organism size and origin (population) as factors. In cases where significant differences existed ($P < 0.05$), we applied Scheffé's *a posteriori* test according to Zar (1984).

Análisis estadístico

Para establecer diferencias entre los niveles de metales pesados presentes en concha y tejidos de cada población, se aplicó un análisis de varianza de dos vías, estableciendo la talla de los organismos y su origen (población) como factores. En los casos donde existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) se aplicó la prueba *a posteriori* de Scheffé, según Zar (1984).

Resultados

Metales pesados en tejidos

En la figura 1 se muestran las concentraciones de metales pesados (μg de metal en g de tejido) registradas en las tres poblaciones para las diferentes tallas (juveniles, medianos y adultos) de *T. mactroides*. La acumulación de los metales analizados presentó el orden siguiente: hierro > zinc > manganeso > cobre > cromo > cadmio > plomo.

Los niveles de hierro presentaron una distribución diferente en las tres localidades, registrando en Río Chico los mayores niveles (juveniles: 371.63 ± 38.982 ; medianos: 473.12 ± 45.195 ; adultos: 1301.59 ± 2085.449), seguidos por la población de Playa Güiria (juveniles: 41.58 ± 157.10 ; medianos: 331.64 ± 167.065 ; adultos: 343.87 ± 80.607). Con los organismos de Boca de Paparo ocurrió lo contrario, ya que la concentración de hierro disminuyó con la talla (juveniles: 1417.13 ± 144.213 ; medianos: 373.64 ; adultos: 133.03 ± 39.217) con diferencias altamente significativas entre organismos juveniles y adultos ($P < 0.0001$).

Results

Heavy metals in tissues

Figure 1 shows the heavy metal concentrations (μg of metal per g of tissue) recorded for the different sizes (juveniles, medium-size and adults) of three populations of *T. mactroides*. The metals under study were accumulated in the following order: iron > zinc > manganese > copper > chromium > cadmium > lead.

Iron levels presented a different distribution in the three locations: the highest levels were found in Río Chico (juveniles: 371.63 ± 38.982 ; medium-size: 473.12 ± 45.195 ; adults: 1301.59 ± 2085.449), and then at Playa Güiria (juveniles: 41.58 ± 157.10 ; medium-size: 331.64 ± 167.065 ; adults: 343.87 ± 80.607). At Boca de Paparo, however, the iron concentrations in organisms decreased with size (juveniles: 1417.13 ± 144.213 ; medium-size: 373.64 ; adults: 133.03 ± 39.217). The difference between juveniles and adults was highly significant ($P < 0.001$).

Boca de Paparo had the highest concentrations of manganese (juveniles: 129.23 ± 37.164 ; medium-size: 146.51 ± 22.558 ; adults: 177.83 ± 24.553), zinc (juveniles: 227.08 ± 186.987 ; medium-size: 310.84 ± 62.340 ; adults: 380.20 ± 74.512), and copper (juveniles: 71.51 ± 16.628 ; medium-size: 141.26 ± 17.42 ; adults: 189.87 ± 22.316). Values increased with size. The next highest values were found in Río Chico; however, organisms at Playa Güiria showed very low levels

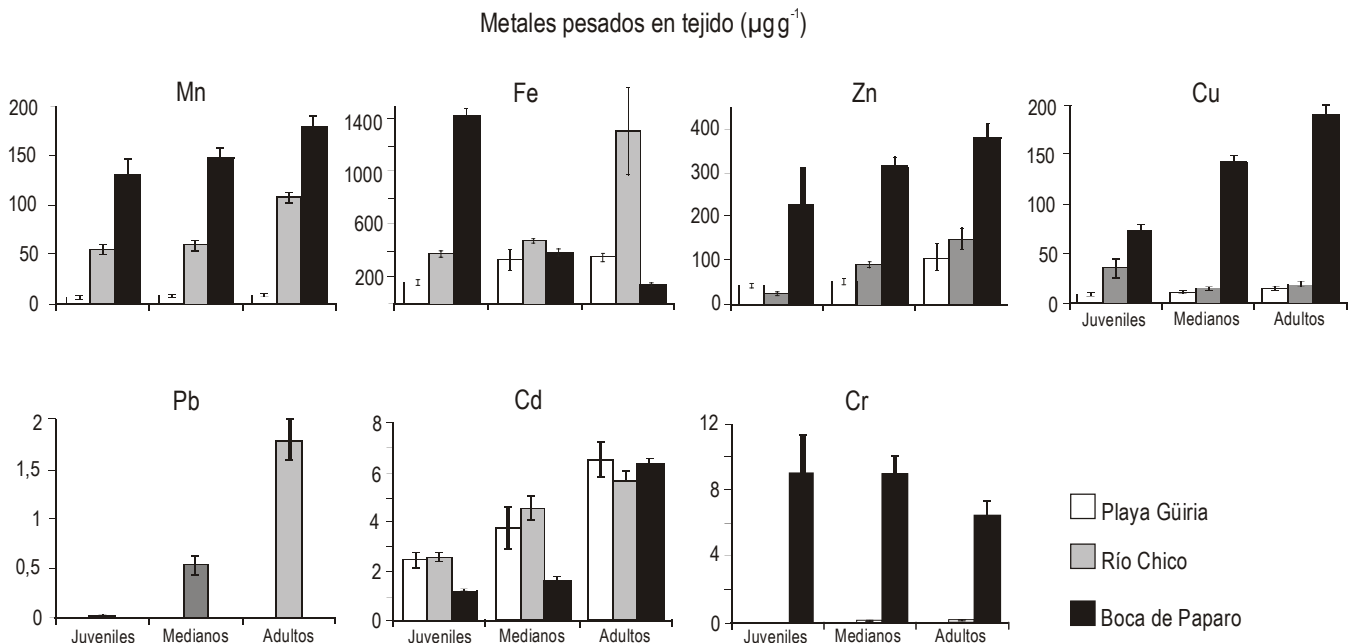


Figura 1. Concentración de metales pesados en el tejido de juveniles, organismos de talla mediana con capacidad reproductiva y adultos de *Tivela mactroides* de las poblaciones de Playa Güiria (Edo. Sucre), Río Chico y Boca de Paparo (Edo. Miranda) de las costas de Venezuela.

Figure 1. Heavy metal concentrations in tissues of juveniles (13 ± 2.2 mm), medium-size organisms with mature gonads (25 ± 4.1 mm) and adults (35 ± 1.2 mm) of the clam *Tivela mactroides* from Playa Güiria (Edo. Sucre), Río Chico and Boca de Paparo (Edo. Miranda) on the Venezuelan coast.

La población de Boca de Paparo presentó las mayores concentraciones de manganeso (juveniles: 129.23 ± 37.164 ; medianos: 146.51 ± 22.558 ; adultos: 177.83 ± 24.553), zinc (juveniles: 227.08 ± 186.987 ; medianos: 310.84 ± 62.340 ; adultos: 380.20 ± 74.512) y cobre (juveniles: 71.51 ± 16.628 ; medianos: 141.26 ± 17.42 ; adultos: 189.87 ± 22.316), que se incrementaron con la talla, seguida de la población de Río Chico. No obstante, los organismos de Playa Güiria reflejaron niveles muy bajos con respecto a las otras dos poblaciones, presentando proporciones similares en las tres tallas. El cadmio también aumentó con la talla, estableciéndose diferencias altamente significativas entre las tres poblaciones ($P < 0.001$). Sin embargo, las poblaciones de Playa Güiria (juveniles: 0.669 ± 2.45 ; medianos: 53.48 ± 15.666 ; adultos: 6.52 ± 1.648) y Río Chico (juveniles: 2.60 ± 0.240 ; medianos: 4.50 ± 1.296 ; adultos: 5.64 ± 0.910) presentaron niveles similares en sus tejidos, pero diferentes ($P < 0.05$) a los obtenidos en Boca de Paparo que fueron menores en juveniles y medianos (juveniles: 1.23 ± 0.208 ; medianos: 1.61 ± 0.400 ; adultos: 6.31 ± 0.675).

El cromo fue observado únicamente en organismos de Boca de Paparo, obteniéndose diferencias altamente significativas entre las tres tallas ($P < 0.001$), y disminuyendo con el aumento de la talla del organismo (juveniles: 9.01 ± 5.215 ; medianos: 9.03 ± 2.363 ; adultos: 6.45 ± 2.157). Con el plomo ocurrió lo contrario, detectándose únicamente en los tejidos de la población de Río Chico (juveniles: 0.02 ± 0.006 ; medianos: 0.53 ± 0.200 ; adultos: 1.80 ± 0.447) con diferencias altamente significativas entre las tallas evaluadas ($P < 0.001$).

Metales pesados en la concha

Los organismos provenientes de Boca de Paparo y Río Chico presentaron las mayores concentraciones de metales en sus conchas, en contraste con los niveles registrados por los organismos de Playa Güiria, en donde además no se detectaron cromo ni plomo (fig. 2). En general, la concentración de metales pesados estuvo relacionada proporcionalmente con el tamaño de la concha, y no se establecieron diferencias significativas ($P < 0.001$) entre las diferentes poblaciones y las tallas evaluadas.

Los mayores niveles de manganeso se obtuvieron en las conchas provenientes de Río Chico (juveniles: 11.47 ± 4.222 ; medianos: 24.08 ± 8.394 ; adultos: 32.92 ± 9.464), mientras que en la población de Boca de Paparo se determinaron las mayores concentraciones de hierro (juveniles: 11.42 ± 4.917 ; medianos: 36.62 ± 25.589 ; adultos: 50.67 ± 23.384) y cobre (juveniles: 2.06 ± 0.649 ; medianos: 5.07 ± 1.109 ; adultos: 7.29 ± 1.804). Con respecto al zinc, éste fue detectado en mayor proporción en las poblaciones de Río Chico y Boca de Paparo.

El contenido de cadmio fue prácticamente similar en las tres poblaciones estableciéndose tan solo diferencias significativas entre juveniles y adultos ($P < 0.05$). El cromo fue detectado en las poblaciones de Río Chico (juveniles: 0.04 ± 0.08 ; medianos: 0.17 ± 0.010 ; adultos: 0.32 ± 0.194) y Boca de Paparo (juveniles: 0.07 ± 0.035 ; medianos: 0.26 ± 0.07 ;

when compared with the other two populations, and in similar proportions in the three sizes.

Cadmium also increased with size, with highly significant differences among the three populations ($P < 0.001$). Tissue levels in the populations from Playa Güiria (juveniles: 0.669 ± 2.45 ; medium-size: 53.48 ± 15.666 ; adults: 6.52 ± 1.648) and Río Chico (juveniles: 2.60 ± 0.240 ; medium-size: 4.50 ± 1.296 ; adults: 5.64 ± 0.910) were similar, but different ($P < 0.05$) from those at Boca de Paparo, which were lower in juveniles and medium-sized organisms (juveniles: 1.23 ± 0.208 ; medium-size: 1.61 ± 0.400 ; adults: 6.31 ± 0.675).

Chromium was only observed in organisms from Boca de Paparo, with highly significant differences among the three sizes ($P < 0.001$), decreasing as organism size increases (juveniles: 9.01 ± 5.215 ; medium-size: 9.03 ± 2.363 ; adults: 6.45 ± 2.157). On the other hand, lead was only detected in Río Chico tissues (juveniles: 0.02 ± 0.006 ; medium-size: 0.53 ± 0.200 ; adults: 1.80 ± 0.447), with highly significant differences among sizes ($P < 0.001$).

Heavy metals in shells

The organisms from Boca de Paparo and Río Chico had the highest metal concentrations in their shells, compared with the levels recorded for organisms from Playa Güiria where chromium and lead were not even detected (fig. 2). Generally, heavy metal concentration was proportionally related to shell size, and there were no significant differences ($P < 0.001$) among the different populations and sizes.

The highest manganese levels were detected in Río Chico shells (juveniles: 11.47 ± 4.222 ; medium-size: 24.08 ± 8.394 ; adults: 32.92 ± 9.464), while the highest concentrations of iron (juveniles: 11.42 ± 4.917 ; medium-size: 36.62 ± 25.589 ; adults: 50.67 ± 23.384) and copper (juveniles: 2.06 ± 0.649 ; medium-size: 5.07 ± 1.109 ; adults: 7.29 ± 1.804) were detected at Boca de Paparo. The highest levels of zinc were found in Río Chico and Boca de Paparo.

Cadmium contents were similar in the three populations; the only significant differences were between juveniles and adults ($P < 0.05$). Chromium was detected in Río Chico (juveniles: 0.04 ± 0.08 ; medium-size: 0.17 ± 0.010 ; adults: 0.32 ± 0.194) and Boca de Paparo (juveniles: 0.07 ± 0.035 ; medium-size: 0.26 ± 0.07 ; adults: 1.11 ± 1.043); the highest levels were found in Boca de Paparo adult shells. Lead was only detected in Río Chico (juveniles: 0.01 ± 0.004 ; medium-size: 0.03 ± 0.022 ; adults: 0.070 ± 0.34), with highly significant differences among the different sizes ($P < 0.001$).

Discussion

The different environmental quality of each zone had already been reported in a previous analysis by Acosta *et al.* (2002). The levels recorded at Playa Güiria are within the natural limits of marine ecosystems, whereas those from Río

adultos: 1.11 ± 1.043), obteniéndose los mayores niveles en la concha de los organismos adultos de la población de Boca de Paparo. El plomo fue detectado únicamente que en los organismos de Río Chico (juveniles: 0.01 ± 0.004 ; medianos: 0.03 ± 0.022 ; adultos: 0.070 ± 0.34) estableciéndose diferencias altamente significativas entre las diferentes tallas ($P < 0.001$).

Discusión

Las diferencias obtenidas con respecto a los factores ambientales muestran la calidad ambiental de cada zona, la cual ya había sido reportada en un análisis previo por Acosta *et al.* (2002). De esta manera, Playa Güiria presentó niveles dentro de los límites naturales para ecosistemas marinos, mientras que Río Chico y principalmente Boca de Paparo presentaron valores que indican perturbación ambiental debida a la influencia de las descargas provenientes del Río Tuy.

Los niveles de metales pesados en las diferentes poblaciones de *T. mactroides* estuvieron influenciados principalmente por los aportes antropogénicos a cada zona, presentando las concentraciones de metales una tendencia general a incrementarse con la talla de los organismos. En este sentido la población de Boca de Paparo reflejó las mayores concentraciones de manganeso, zinc, cobre y cromo, seguida por las de Río Chico y Playa Güiria, coincidiendo con el grado de perturbación ambiental reportada para cada zona. En este sentido, Gutiérrez-Galindo *et al.* (1999) señalan que, por lo general, la distribución espacial de los metales pesados en moluscos

Chico and particularly Boca de Paparo suggest environmental perturbation, mostly due to the Tuy River runoff.

Heavy metal levels in the different populations of *T. mactroides* were mainly influenced by anthropogenic contributions in each zone, with a general tendency to increase with organism size. The population at Boca de Paparo had the highest concentrations of manganese, zinc, copper and chromium, followed by Río Chico and Playa Güiria; this coincides with the degree of environmental perturbation reported for each zone. Gutiérrez-Galindo *et al.* (1999) indicate that the spatial distribution of heavy metals in bivalve mollusks can generally be explained by the variation of interacting external factors (stream pattern, blending of different waters, upwelling, productivity, rainfall, etc).

The high levels, mainly of manganese, iron, zinc and copper, in the tissues collected at Boca de Paparo, can be attributed to the environmental conditions in this zone: the Tuy River brings anthropogenic inputs, but also determines lower levels of dissolved oxygen, salinity and pH, which together with high temperatures during this period (July 1999), caused a greater oxidation of organic matter, possibly increasing metal bioavailability for this population. In relation to this, Wright and Zamuda (1987) determined that copper is rapidly accumulated by bivalves in conditions of low salinity, and Rajkumar *et al.* (1992) found that a temperature increase is generally favorable to organism metabolic rate, thus helping the process of accumulation of the metals present in the environment. Heavy metal assimilation efficiency also depends on both quantity

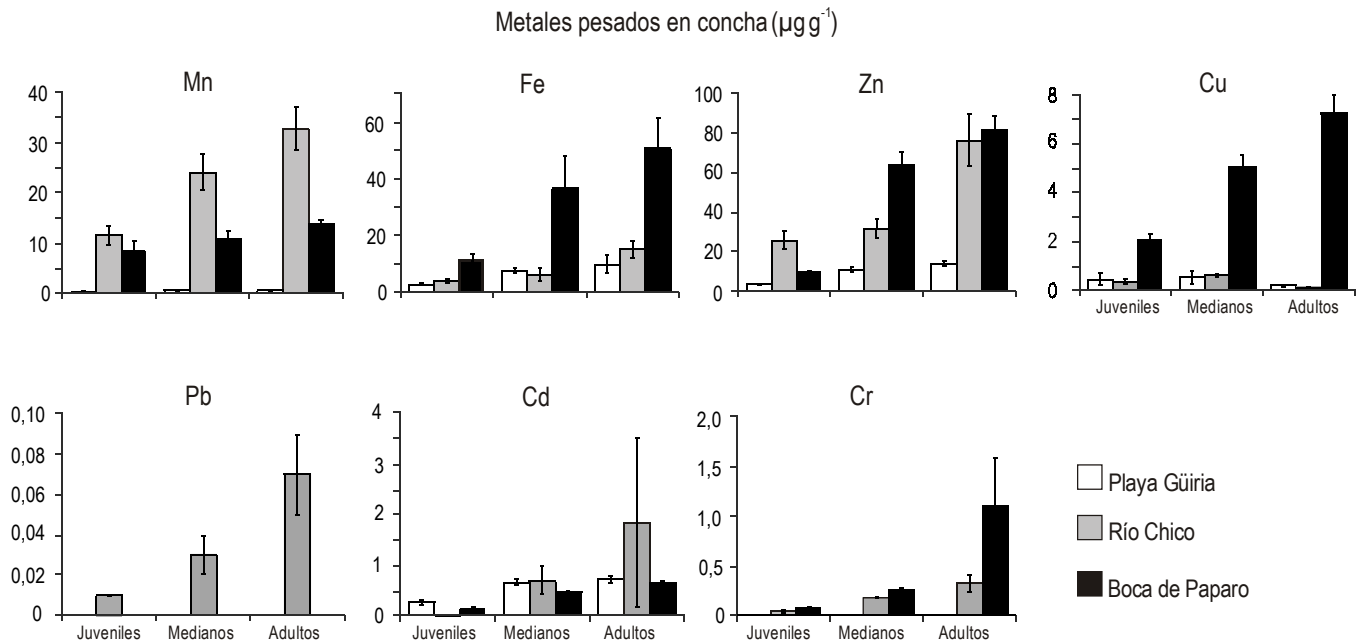


Figura 2. Concentración de metales pesados en la concha de juveniles, organismos de talla mediana con capacidad reproductiva y adultos de *Tivela mactroides* de las poblaciones de Playa Güiria (Edo. Sucre), Río Chico y Boca de Paparo (Edo. Miranda) de las costas de Venezuela.

Figure 2. Heavy metal concentrations in shells of juveniles (13 ± 2.2 mm), medium-size organisms with mature gonads (25 ± 4.1 mm), and adults (35 ± 1.2 mm) of the clam *Tivela mactroides* from Playa Güiria (Edo. Sucre), Río Chico and Boca de Paparo (Edo. Miranda) on the Venezuelan coast.

bivalvos puede ser explicada por la variación de factores extrínsecos interactuantes (patrón de corrientes, proceso de mezcla de aguas de diferentes orígenes, surgencias, productividad, aporte terrígeno por lluvias, etc.).

Los altos niveles, principalmente de manganeso, hierro, zinc y cobre, reflejados en los tejidos de la población de Boca de Paparo pueden estar relacionados con las condiciones ambientales presentes en la zona debidas a las descargas del Río Tuy. Éstas propician un ambiente no sólo de aporte de descargas antropogénicas, sino también con menores niveles de oxígeno disuelto, salinidad y pH que, junto a la elevada temperatura para la época (julio 1999), incidió en la mayor oxidación de la materia orgánica presente, posiblemente aumentando la biodisponibilidad de los metales para dicha población. En este sentido, Wright y Zamuda (1987) determinaron que el cobre es rápidamente acumulado por los bivalvos a bajas salinidades, y Rajkumar *et al.* (1992) encontraron que el aumento de la temperatura generalmente favorece la tasa metabólica de los organismos, ayudando así al proceso de acumulación de metales presentes en el medio. La eficiencia de asimilación de los metales pesados también depende de la cantidad y la calidad de alimento presente en el medio (Wang y Fisher, 1999; Ke y Wang, 2002), lo cual coincide con la elevada biomasa fitoplanctónica y de seston de la zona de Boca de Paparo (Acosta *et al.*, 2002).

Los metales esenciales fueron acumulados en mayor proporción (hierro > zinc > manganeso > cobre) que los no esenciales (cromo > cadmio > plomo). Esta tendencia ha sido reportada en otras especies de moluscos, incluyendo a *T. mactroides* (Rajkumar *et al.*, 1992; Jaffé *et al.*, 1995; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999).

El cobre y el zinc en las tres localidades fueron acumulados proporcionalmente a la talla de la almeja. Dichos metales, en pequeñas cantidades, actúan como componentes estructurales o catalíticos indispensables para el crecimiento, y tienden a incrementarse con el tiempo de exposición y la talla del cuerpo (Usero *et al.*, 1996). Se ha señalado que los moluscos en general no son buenos indicadores de cobre en el medio ambiente acuático debido al mecanismo de regulación metabólica que presentan con respecto a este metal (Phillips, 1976). No obstante, nuestros resultados muestran una relación estrecha entre los niveles del cobre en los tejidos y en el sedimento de las localidades estudiadas, lo cual señala a la almeja como buen indicador de cobre.

Los niveles de hierro en las poblaciones de Playa Güiría y Río Chico aumentaron con la talla, mientras que en la población de Boca de Paparo este metal presentó un comportamiento contrario en el que las mayores concentraciones se obtuvieron en organismos juveniles, no obteniéndose ninguna relación con los niveles altos de hierro reportados en los sedimentos de Boca de Paparo (tabla 2). Esta respuesta pudo estar relacionada con procesos de regulación del metal por parte de los organismos con relación a la disponibilidad del mismo y no a la talla. No obstante, la hipótesis más probable es que en gran proporción el metal en el sedimento, no estuvo biodisponible para ser

and quality of the nutrients in the environment (Wang and Fisher, 1999; Ke and Wang, 2002), which coincides with the existence of great phytoplanktonic biomass and seston in the zone of Paparo (Acosta *et al.*, 2002).

Accumulation was higher in essential metals (iron > zinc > manganese > copper) than in non-essential metals (chromium > cadmium > lead), a tendency already reported in other mollusk species, including *T. mactroides* (Rajkumar *et al.*, 1992; Jaffé *et al.*, 1995; Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999).

In the three locations, copper and zinc were accumulated proportionately to clam size. Small quantities of these metals act as indispensable structural or catalytic components for growth and tend to increase with exposition time and body size (Usero *et al.*, 1996). It has been pointed out that mollusks are generally not very good copper indicators in marine environments because they have a metabolic regulation mechanism for this metal (Phillips, 1976). However, as our results show a close relation between copper levels in tissues and sediment, clams should be considered good copper indicators.

Iron levels in the populations from Playa Güiría and Río Chico increased with size. The opposite occurred at Boca de Paparo, where the highest iron levels were found in juveniles and bore no relation to the high iron levels reported in the sediment (table 2). This may be due to metal regulation processes in these organisms that work according to metal availability and not size. However, the most probable hypothesis is that the metal in the sediment was not bioavailable to be absorbed and accumulated by the organisms. As Boca de Paparo is closer to the Tuy River mouth, it received a higher concentration of iron of lithogenic origin, which is less bioavailable. Sirinawin *et al.* (1991) reported that concentrations of iron, because of its abundance in the Earth's crust, are generally higher in aquatic environments influenced by rivers, which constitute one of the most important transportation means toward marine and estuarine ecosystems where metal can be accumulated in the sediment. However, Latouche and Mix (1982) observe that organism size may affect heavy metal concentrations in mollusks; thus, there is an inverse relation between metal concentration and size in bivalves when incorporation and excretion rates are similar (Usero *et al.*, 1996). On the other hand, Rainbow *et al.* (1990) indicate that metals such as iron, zinc, copper, chromium, manganese and nickel play an important role in biochemistry as enzymatic factors, and the significant correlations between metals and biological variables may be due to biochemical needs and/or to passive metal incorporation due to intracellular union. Cadmium, lead and chromium are non-essential metals, or at least have no known metabolic function; however, specific processes or metabolic ways of depuration and transformation inside the organism control their toxicity and bioavailability. The cadmium levels in tissues from Playa Güiría and Río Chico were similar. Yet, the origin and bioavailability of this metal may differ due to environmental conditions in each location. At Playa Güiría, the presence of cadmium may be mainly related to organic matter decomposition and metal liberation in the environment due to

absorbido y acumulado por el organismo. De esta manera, como Boca de Paparo fue la localidad inmediatamente expuesta al Río Tuy, recibió mayor concentración de hierro, en su mayoría de origen litogénico y, por lo tanto, menos biodisponible. Sirinawin *et al.* (1991) reportan que las concentraciones de hierro, por encontrarse en grandes proporciones en la corteza terrestre, suelen incrementarse en los ambientes acuáticos bajo la influencia de los ríos. Estos constituyen una de las vías de transporte más importantes hacia los ecosistemas estuarinos y marinos, en los que el metal puede ser acumulado en los sedimentos. No obstante, Latouche y Mix (1982) señalan que la talla del organismo puede afectar la concentración de metales pesados en moluscos, por lo que una relación inversa entre la concentración del metal y la talla se manifiesta cuando existe un balance entre la tasa de incorporación y de excreción en los bivalvos (Usero *et al.*, 1996). Por otro lado, Rainbow *et al.* (1990) indican que metales como el hierro, zinc, cobre, cromo, manganeso y níquel, juegan un papel importante en la bioquímica como factores enzimáticos, y las correlaciones significativas entre metales y variables biológicas pueden ser debidas a las necesidades bioquímicas y/o al secuestro pasivo de los metales debido a la unión intracelular del elemento. El cadmio, plomo y cromo son metales no esenciales o no se les conoce función metabólica. No obstante, su toxicidad y biodisponibilidad están bajo el control de procesos o rutas metabólicas específicas de depuración y transformación dentro del organismo. Los niveles de cadmio obtenidos en los tejidos de las poblaciones de Playa Güiría y Río Chico fueron similares. Sin embargo, el origen y biodisponibilidad del metal pueden diferir debido a las condiciones ambientales que existen en cada localidad. En Playa Güiría, la presencia de cadmio pudo estar principalmente relacionada con la descomposición de la materia orgánica y liberación del metal al medio, producto de los picos de surgencia costera que se presentan en esta zona (Müller-Karger *et al.*, 1989). El cadmio muestra un comportamiento biogeoquímico muy similar al de los nutrientes, particularmente al de los fosfatos, y por lo tanto parece ser controlado por el ciclo de la materia orgánica presente en la columna de agua. Esta característica hace que las aguas de surgencia enriquecidas, constituyan la principal fuente de este elemento para los organismos expuestos (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999; Gutiérrez-Galindo y Muñoz-Barbosa, 2003). En Río Chico y Boca de Paparo los niveles de cadmio presentes en el tejido pudieron tener un origen más antrópico y no biogénico como en Playa Güiría.

El plomo fue detectado únicamente en la población de Río Chico, en relación directa con la talla del organismo, a pesar de los mayores niveles encontrados en los sedimentos de Boca de Paparo. Según Rainbow *et al.* (1990), el plomo en el medio ambiente marino se encuentra en múltiples formas químicas, aunque su mayor parte se encuentra en forma de especies inorgánicas de origen litogénico (no biodisponible). Estas formas pueden ser retiradas del ecosistema e incorporadas por los organismos, lo que explicaría la ausencia del plomo en los tejidos de la población de Boca de Paparo. Sin embargo, el

coastal upwelling peaks occurring in this zone (Müller-Karger *et al.*, 1989). Cadmium has a nutrient-like biogeochemical behavior, particularly similar to phosphates. Consequently, cadmium seems to be controlled by the cycle of organic matter present in the water column, a characteristic that makes enriched upwelling waters the main source of this element for the organisms exposed to them (Gutiérrez-Galindo *et al.*, 1999; Gutiérrez-Galindo and Muñoz-Barbosa, 2003). In Río Chico and Boca de Paparo, the cadmium levels in the tissues may be of human origin and not of biogenic origin as at Playa Güiría.

Lead was detected only in Río Chico, directly proportional to organism size, despite higher levels found in Boca de Paparo sediment. According to Rainbow *et al.* (1990), lead is found in marine environments under multiple chemical forms, though mostly as inorganic species of lithogenic origin (not bioavailable). These forms may be taken from the environment and acquired by the bivalves, which would explain the absence of lead in the tissues from Boca de Paparo. However, this lead may be of recent origin, i.e. of anthropogenic origin, as it could have entered the system through the atmosphere (mainly through gasoline combustion) or through direct gasoline and oil input. Río Chico, unlike the other locations under study, is a vacation resort where land and sea vehicles are used, which may be the cause of lead contamination. This element does not perform any biological function and can consequently alter the metabolism of living organisms, which explains metal biomagnification in the organisms when compared to levels reported in sediments.

High levels of chromium were found in the tissues of organisms from Boca de Paparo, where this metal also decreases inversely to size. Boada (1979) observes that chromium concentration tends to increase in low salinity. We can therefore suggest that at Boca de Paparo, in addition to high chromium levels in the environment, low salinities may have created favorable conditions for the bioaccumulation of this metal. Chromium was also found in tissues from Río Chico, but much less than in tissues from Boca de Paparo. At Playa Güiría, this metal was detected neither in tissues nor in the environment. This corresponds appropriately with the environmental perturbation of these zones.

In the shells, as opposed to tissues, essential metals such as manganese and iron tended to increase with size, and chromium, a non-essential metal, behaved in the same way. Cadmium concentration varied, but also increased with size. Despite the high levels of lead found in sediments from Boca de Paparo, this metal was not detected in the shells. This could be related to low metal availability, and confirms the hypothesis that lead is of lithogenic origin at this location. According to Fischer (1993) shells incorporate metal through adsorption processes, while tissues accumulate it through depurative and antitoxic processes; therefore, in determining metal levels, shells have an advantage. The presence of chromium in shells from Río Chico, but not in tissues, supports this argument.

The high metal values registered for the tissues from the populations of Boca de Paparo and Río Chico were mainly

plomo detectado en Río Chico puede ser de origen reciente, es decir de origen antrópico, ya que pudo ingresar al sistema a través de la atmósfera (proveniente de la combustión principalmente de la gasolina) o por vertidos directos de gasolina y aceites. Río Chico, a diferencia de las otras localidades estudiadas, posee una elevada actividad turística. Es una zona con presencia importante de vehículos tanto terrestres como marítimos, lo que podría constituir un foco de contaminación por plomo. Este elemento no desempeña ninguna función biológica y, por lo tanto, puede alterar el metabolismo de los organismos vivos, lo que explicaría la biomagnificación del metal en el organismo con respecto a los niveles reportados en los sedimentos.

Se registraron altos niveles de cromo en los tejidos de los organismos pertenecientes a Boca de Paparo, en los que este metal también disminuyó con el aumento de la talla de los organismos. Boada (1979) señala que la concentración de cromo tiende a aumentar a salinidades bajas, por lo que se podría sugerir que en Boca de Paparo, además de los altos niveles en el ambiente, las bajas salinidades pudieron generar condiciones propicias para la bioacumulación del metal. Los organismos de Río Chico también presentaron cromo en sus tejidos, pero en cantidades mínimas respecto a Boca de Paparo. En Playa Güiria el metal no fue detectado ni en los tejidos ni en el ambiente, lo cual muestra una correlatividad adecuada en función a la perturbación ambiental de las zonas estudiadas.

En la concha, a diferencia de los tejidos, los metales esenciales como el manganeso y hierro presentaron una tendencia de aumento con respecto a la talla, de igual manera ocurrió con el cromo, metal no esencial. La concentración de cadmio mostró cierta variabilidad, aunque con el mismo comportamiento anterior de aumento con la talla. A pesar de los altos niveles de plomo encontrados en los sedimentos de Boca de Paparo, este metal no fue detectado en la concha de los organismos. Esto podría estar relacionado con la poca disponibilidad del metal en esta localidad, soportando la hipótesis de su origen litogénico en el sitio. Según Fischer (1993), la incorporación de metales a la concha se produce mediante procesos de adsorción, mientras que en los tejidos la acumulación realiza por procesos depurativos y antitóxicos. Por esta razón, este compartimiento posee ventajas para determinar niveles de metales. Un resultado que sustenta esta argumentación es la presencia de cromo en la concha de los organismos de Río Chico y no en sus tejidos.

Los altos valores de metales registrados en los tejidos de las poblaciones de Boca de Paparo y Río Chico fueron de origen principalmente antrópico, provenientes del Río Tuy. Las condiciones ambientales presentes en Boca de Paparo pudieron facilitar en gran medida el proceso de bioacumulación de la mayoría de los metales pesados en los tejidos de los organismos. La población de Playa Güiria, sin embargo, mostró valores ubicados dentro de los rangos que se dan de manera natural. Nuestros resultados indican que *T. mactroides* presenta una acumulación contrastante en hasta tres ordenes de magnitud de diferencia entre las diferentes zonas, expresados

of human origin, through the Tuy River. Environmental conditions at Boca de Paparo could greatly facilitate the bioaccumulation process of most heavy metals in organism tissues. However, the Playa Güiria population had values within natural ranges. Our results indicate that metal accumulation in *T. mactroides* is dissimilar, with values that may differ up to three orders of magnitude in the different zones, primarily among the bigger sizes, and in strong correlation with environmental perturbation. This suggests that *T. mactroides* may be used as a good indicator of the presence of heavy metals on the coast that they inhabit.

Acknowledgements

This study was funded by the Research Council of the Universidad de Oriente and the FONACIT Scholarship Program. The authors thank the staff of the heavy metal laboratory at the Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, for their technical collaboration; O. Nusetti and L. Rojas for their critical reading; and the anonymous reviewers who contributed to improve this study. The english translation was a contribution by Nicolas Boulaine

English translation by the authors.

principalmente en las tallas mayores, y fuertemente correlacionada con la perturbación ambiental de las localidades evaluadas. Esto sugiere que *T. mactroides* puede ser utilizada como un buen indicador de metales pesados del litoral donde habita.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente y el Programa de Becas del FONACIT, Venezuela. Los autores agradecen la colaboración técnica del laboratorio de metales pesados perteneciente al Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente. Se agradece la lectura crítica de O. Nusetti y L. Rojas, así como a los revisores anónimos por sus aportes para la mejora del artículo. La traducción al inglés fue una contribución de Nicolas Boulaine.

Referencias

- Acosta, V. (2001). Estado fisiológico de poblaciones del guacuco *Tivela mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) en ambientes con diferentes grados de contaminación. Tesis de postgrado, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, 70 pp.
- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W. y Martínez, G. (2002). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*, 27(12): 686–690.
- Beaumont, A., Tserpes, G. and Budd, M. (1987). Some effects of copper on the veliger larvae of the mussel *Mytilus edulis* and the scallops *Pecten maximus* (Mollusca: Bivalvia). *Mar. Environ. Res.*, 21(4): 299–309.

- Boada, M. (1979). Acumulación de metales pesados (cobre, cadmio y zinc) en poblaciones de *Perna perna* y *Spirobranchus giganteus* (P) en el laboratorio. Tesis de licenciatura, Universidad de Oriente, Venezuela, 64 pp.
- Fischer, H. (1993). Shell weight as an independent variable in relation to cadmium content of molluscs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 12(59): 59–75.
- Gaad, G. and Griffiths, A. (1987). Microorganisms and heavy metals toxicity. *Microbial. Ecol.*, 4: 303–317.
- Guillén, R. (1982). Análisis químico de los elementos: Cu, Cr, Pb, Zn, Cd, Ni, Fe, Co, As, Hg, y carbono orgánico en los sedimentos del Río Tuy. Trabajo especial de ascenso, Universidad Central de Venezuela, 73 pp.
- Gutiérrez-Galindo, E. y Muñoz-Barbosa, A. (2003). Variabilidad geográfica de la concentración de Hg, Co, Fe y Ni en mejillones *Mytilus californianus* (Conrad, 1837) de la costa de Baja California. *Cienc. Mar.*, 29(1): 21–34.
- Gutiérrez-Galindo, E., Villaescusa-Celaya, J. and Arreola-Chimal, A. (1999). Bioacumulación de metales en mejillones de cuatro sitios selectos de la región costera de Baja California. *Cienc. Mar.*, 25(4): 557–578.
- Hoare, K., Davenport, J. and Beaumont, A. (1995). Effects of exposure and previous exposure to copper on growth of veliger larvae and survivorship of *Mytilus edulis* juveniles. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 120(1–3): 163–168.
- Jaffé, R., Leal, I., Alvarado, J., Gardinali, P. and Sericanos, J. (1995). Pollution effects of the Tuy River on the central Venezuelan coast: anthropogenic organic compounds and heavy metals in *Tivela mactroides*. *Mar. Pollut. Bull.*, 30(12): 820–825.
- Ke, C. and Wang, W-X. (2002). Trace ingestion and assimilation by the green mussel *Perna viridis* in a phytoplankton and sediment mixture. *Mar. Biol.*, 140: 327–335.
- Latouche, Y. and Mix, C. (1982). The effects of depuration, size and sex on trace metal levels in bay mussels. *Mar. Pollut. Bull.*, 13(1): 27–29.
- Leal, I. (1992). Contaminación por hidrocarburos, metales pesados y compuestos organoclorinados en el Litoral Barloventeño y Morrocoy. Trabajo especial de ascenso, Universidad Simón Bolívar, 129 pp.
- MARN (1985). Estudio de la influencia del Río Tuy en el Litoral Barloventeño. Serie de Informes Técnicos. DGSIIA/IT/159.
- Mogollón, J. and Bifano, C. (1985). Estudio geoquímico de contaminación por metales pesados en sedimentos de la cuenca del Río Tuy. VI Congreso Geológico Venezolano. Resumen extenso, pp. 1893–1928.
- Müller-Karger, F.E., MacClain, C.M., Fisher, T.R., Esaias, W.E. and Varela, R. (1989). Pigment distribution in the Caribbean Sea: Observations from space. *Prog. Oceanogr.*, 23: 23–64.
- Páez-Ozuna, J., Frias-Espicueta, M. and Osuna-López, J. (1995). Trace metal concentrations in relation to season and gonadal maturation in the oyster *Crassostrea iridescens*. *Mar. Environ. Res.*, 40(1): 19–31.
- Pavic, J., Smadis, B., Skreblin, M., Krear, L. and Stegnar, P. (1994). Embryo-larval tolerance stages of *Mytilus galloprovincialis*, exposed to elevated seawater metal concentrations. 2. Stage-specific in fluctuations in sensitivity toward Zn and Cd and their bioaccumulation into veliger larvae. *Comp. Biochem. Physiol.*, 109(1): 37–46.
- Phillips, D. (1976). The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of trace metals in Scandinavian waters. I. Zinc and cadmium. *Mar. Biol.*, 43(4): 283–291.
- Phillips, D. and Rainbow, P. (1997). Trace metal accumulation in marine invertebrates: Marine biology or marine chemistry. *J. Mar. Biol. Assoc.*, 77: 195–210.
- Prieto, A. (1983). Contribución a la ecología de *Tivela mactroides* (Born, 1778). Aspectos reproductivos. *Bol. Inst. Oceanogr. S. Paulo*, 29(2): 323–328.
- Rainbow, P., Phillips, D. and Depledge, M. (1990). The significance of trace metal concentrations in marine invertebrates: A need for laboratory investigation of accumulation strategies. *Mar. Pollut. Bull.*, 12(7): 321–324.
- Rajkumar, W., Mungal, R. and Bahadoorsingh, E. (1992). Heavy metal concentration in sea water, sediment, and biota (*Donax striatus*) along the east coast of Trinidad. *Caribb. Mar. Stud.*, 3: 26–32.
- Ramírez, T. (1993). Dinámica poblacional y explotación del guacuco *Tivela mactroides* (Born, 1778) (Bivalvia: Veneridae) en la Bahía de Güiría, Estado Sucre. Tesis de maestría, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Venezuela, 140 pp.
- Rojas-Astudillo, L., Chang, I., Agarrad, J., Bekele, I. and Hubbard, R. (2002). Heavy metals in green mussel (*Perna viridis*) and oyster (*Crassostrea* sp.) from Trinidad and Venezuela. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 42: 410–415.
- Sadiq, M. (1992). Toxic Metal Chemistry in Marine Environments. Marcel Dekker, New York, 390 pp.
- Scanes, P. (1996). Oyster Watch: Monitoring trace metal and organochlorine concentrations in Sydney's coastal water. *Mar. Pollut. Bull.*, 33(7–12): 226–238.
- Sinawin, W., Turner, D., Westerlund, S. and Kanatharana, P. (1998). Trace metals study in the Outer Songkla Lake, Thales Sap Songkla, a southern Thai estuary. *Mar. Chem.*, 62: 175–183.
- Tata, A. (1984). Producción, biomasa y distribución del molusco bivalvo: *Tivela mactroides* (Born, 1778) en la Ensenada de Playa Güiría, Estado Sucre. Tesis de licenciatura, Universidad de Oriente, 87 pp.
- Tata, A. y Prieto, A. (1993). Producción secundaria en una población del bivalvo tropical *Tivela mactroides* (Veneridae) en el oriente de Venezuela. *Caribb. J. Sci.*, 27(1–2): 28–34.
- Usero, J., González-Regalado, E. and García, I. (1996). Trace metals in the bivalve mollusc *Chamelea gallina* from the Atlantic coast of southern Spain. *Mar. Pollut. Bull.*, 32(3): 305–310.
- Wang, W-X and Fisher, N. (1999). Assimilation efficiencies of chemical contaminants in aquatic invertebrates: A synthesis. *Environ. Toxicol. Chem.*, 18: 2034–2045.
- Wright, D. and Zamuda, D. (1987). Use of oyster as indicators of copper contamination in the Patuxent River, Maryland. *Hydrobiol.*, 222: 39–48.
- Zar, J. (1984). Biostatistical Analysis. 2nd ed. Prentice-Hall, New Jersey, 120 pp.
- Zhang, J. (1992). Transport of particulate heavy metal towards the China Sea: A preliminary study and comparison. *Mar. Chem.*, 40(3–4): 61–178.