

Nota de Investigación/Research Note

Imposex en gasterópodos de Venezuela

Imposex in gastropods from Venezuela

P Miloslavich¹, PE Penchaszadeh², G Bigatti³

¹ Departamento de Estudios Ambientales, Universidad Simón Bolívar, Apartado postal 89000, Caracas 1080, Venezuela.

² CONICET-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA & Museo Argentino de Ciencias Naturales, Av. Angel Gallardo 470, Buenos Aires, Argentina.

³ Centro Nacional Patagónico CENPAT-CONICET, Bvd. Brown 2825, U9120ACV, Puerto Madryn Chubut, Argentina.
E-mail: gbigatti@cenpat.edu.ar

Resumen

Se denomina imposex a la aparición de caracteres sexuales secundarios en hembras de neogasterópodos producidos por la exposición a tributil-estaño (TBT). No existen hasta la fecha reportes de este fenómeno en el Caribe sur, donde habitan poblaciones de gasterópodos marinos que son comestibles y explotados comercialmente. Con el fin de determinar si el fenómeno de imposex afecta a poblaciones de gasterópodos, realizamos muestreos en diferentes zonas en Isla Margarita y la zona continental de Venezuela con distintos niveles de actividad náutica. Las especies afectadas fueron *Chicoreus brevifrons*, *Chicoreus (Phylonotus) margaritensis* y *Leucozonia nasa*; sin embargo, no se encontraron hembras con la vagina obstruida. Se encontró imposex en una laguna costera con alta densidad de botes pintados con anti-incrustantes, mientras que en costas abiertas y con bajo tránsito marino el fenómeno no fue observado. Una encuesta realizada con dueños de embarcaciones reveló que el TBT no se utiliza desde dos a tres años previos al presente estudio, pero ha sido reemplazado con otras pinturas anti-incrustantes. Este es el primer reporte de imposex en Venezuela, pero se necesitan otros estudios utilizando los bioindicadores identificados en este trabajo para determinar la dispersión de la contaminación por TBT y sus implicancias biológicas en zonas con tránsito marino.

Palabras clave: gasterópodos comestibles, TBT, polución marina, imposex, Caribe sur.

Abstract

The imposex phenomenon is a superimposition of male characters on gastropod females due to exposure to tributyltin (TBT). There have been no previous reports of this phenomenon in the southern Caribbean, which is inhabited by some edible and commercially exploited gastropod populations. To determine whether imposex is affecting some of these local gastropod populations, surveys were conducted at several sites with different levels of boating activity around Margarita Island and on the continental coast of Venezuela. The species affected were *Chicoreus brevifrons*, *Chicoreus (Phylonotus) margaritensis* and *Leucozonia nasa*; however, no females with obstructed vagina were observed. Imposex was observed in a coastal lagoon and on the coast at sites characterized by medium to high boat concentrations, but was not detected in open waters with low marine traffic. A survey of local boat operators indicated that the use of TBT had stopped 2–3 years prior to this study and had been replaced by regular application of other antifouling paints. This is the first report of imposex in Venezuela, but further studies incorporating the bioindicators identified here are needed in order to determine the full extent of TBT contamination and the biological implications in zones with marine traffic.

Key words: edible gastropods, TBT, marine pollution, imposex, southern Caribbean.

Introducción

Los gasterópodos gonocóricos presentan fecundación interna, transfiriendo los espermatozoides por cópula o espermatóforos (Gibbs y Bryan 1994). El término imposex fue descrito por primera vez por Smith en 1971 como una superposición de caracteres masculinos en hembras de gasterópodos expuestas a tributil-estaño (TBT, por sus siglas en inglés), un compuesto anti-incrustante utilizado en embarcaciones marinas (Smith 1981, Bryan *et al.* 1986, Gibbs 1996). Uno de estos

Introduction

Gonochoristic gastropods employ internal fertilization, transferring sperm by either copulation or spermatophores (Gibbs and Bryan 1994). The term imposex was first described in 1971 by Smith as a superimposition of male characters on gastropod females due to exposure to tributyltin (TBT), an antifouling compound used in marine vessels (Smith 1981, Bryan *et al.* 1986, Gibbs 1996). One such male character is the development of a penis and a vas deferens, which may block

caracteres es el desarrollo de un pene o un conducto deferente, el cual puede bloquear el oviducto femenino causando esterilización y, en consecuencia, una disminución de la población de gasterópodos en la zona expuesta (Oehlmann *et al.* 1996a). Este fenómeno es ampliamente conocido en todo el mundo y ha sido reportado para más de 170 especies. Concentraciones menores a 1 ng L^{-1} de TBT en agua y sedimentos pueden inducir imposex en neogasterópodos (Bryan *et al.* 1986). Se han realizado biomonitoreos de polución por TBT en aguas costeras y mar abierto usando gasterópodos murícidos (Evans y Nicholson 2000). En Sudamérica, el fenómeno de imposex fue reportado por primera vez en Chile por Gooding *et al.* (1999), en Brasil por Castro *et al.* (2000) y en Argentina por Penchaszadeh *et al.* (2001). Estudios recientes hechos en las costas del Atlántico y el Pacífico Sur confirmaron que la presencia de imposex en una localidad está relacionada con la contaminación por TBT en agua y/o sedimentos (Caetano y Absalao 2002, Fernández *et al.* 2002, Goldberg *et al.* 2004, Bigatti y Penchaszadeh 2005, Bigatti y Carranza 2007). A pesar de la amplia distribución del fenómeno de imposex, no existen reportes del mismo en el Caribe sur. A lo largo de la costa venezolana se encuentran varios asentamientos de pescadores, en particular en la costa este, la cual se caracteriza por un sistema de surgencia altamente productivo (Penchaszadeh *et al.* 2000). En estas localidades existen muchas embarcaciones pintadas con productos anti-incrustantes y a su vez poblaciones de gasterópodos comestibles y explotados comercialmente (Gómez 1999). Con la finalidad de determinar si el fenómeno de imposex está afectando alguna de estas poblaciones locales de gasterópodos, muestreamos en un sitio en la costa continental central y varios sitios alrededor de la Isla Margarita en el este de Venezuela (fig. 1).

Material y métodos

Muestreo

Durante julio de 2004 se recolectaron especímenes de gasterópodos pertenecientes a las familias que figuran en la tabla 1. Los individuos fueron muestreados en la costa continental en Playa Patanemo (fig. 1), una playa arenosa oceánica con una zona rocosa en su parte este, caracterizada por muy bajo tránsito marino. Los sitios muestreados en la Isla Margarita fueron Laguna La Restinga, La Caracola y La Pared. La Laguna La Restinga es una laguna costera caracterizada por una gran actividad náutica y fondos de fango cubiertos con parches del alga *Thalassia testudinum*, así como extensas formaciones de manglares (ver Bigatti *et al.* 2005). La marina de Playa La Caracola es un puerto deportivo con amarres para embarcaciones particulares, en donde no transitan barcos pesqueros. En La Pared, un sitio oceánico y expuesto en las costas exteriores de la isla, se tomaron muestras en dos sitios, el primero fue el embarcadero usado por barcos de pesca con escasa profundidad y, el segundo, un sitio cercano a la costa pero con una profundidad de entre 5 y 10 m y con bajo tránsito marino (tabla 1).

the female oviduct causing sterilization and, consequently, a decline of the gastropod population in the exposed zone (Oehlmann *et al.* 1996a). This phenomenon is well known around the world and has been reported in more than 170 species. Concentrations of TBT in water and sediment of less than 1 ng L^{-1} can induce imposex in neogastropods (Bryan *et al.* 1986). Biomonitoring of TBT pollution has been carried out in coastal waters and the open sea using muricid gastropods (Evans and Nicholson 2000). In South America, imposex was reported for the first time in Chile by Gooding *et al.* (1999), in Brazil by Castro *et al.* (2000) and in Argentina by Penchaszadeh *et al.* (2001). Recent studies on the South Atlantic and Pacific coasts (Caetano and Absalao 2002, Fernandez *et al.* 2002, Goldberg *et al.* 2004, Bigatti and Penchaszadeh 2005, Bigatti and Carranza 2007) confirm that the presence of imposex in a given locality is related to TBT pollution in water and/or sediments. Despite the broad geographic distribution of imposex, there are no reports from the southern Caribbean. Several fishing settlements are located throughout the coast of Venezuela, particularly in the east zone, which is characterized by a highly productive upwelling system (Penchaszadeh *et al.* 2000). Some edible and commercially exploited gastropod populations occur at these localities where many of the fishing vessels are painted with antifouling products (Gómez 1999). In order to determine if imposex is affecting some of these local gastropod populations, we sampled one site on the continental central coast and several sites around Margarita Island off eastern Venezuela (fig. 1).

Material and methods

Sampling

Gastropod specimens from the species and families listed in table 1 were collected during July 2004 at the sites specified. On the continental coast, specimens were collected at Playa

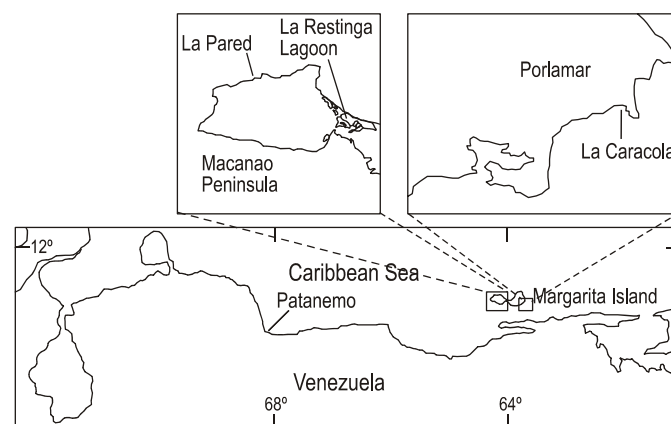


Figura 1. Localidades de muestreo en el continente y en Isla Margarita (detalle).

Figure 1. Location of the sampling sites on the mainland coast of Venezuela and on Margarita Island (inset).

Tabla 1. Especies, sitios de muestreo y profundidades, intensidad de tráfico marino, porcentaje de imposex y RPSI (Índice Relativo del Largo del Pene) para las especies estudiadas en las distintas localidades en Venezuela.**Table 1.** Imposex percentage and Relative Penis Size Index (RPSI) for each species, and sampling depths and intensity of vessel traffic at the different sites surveyed in Venezuela.

Family	Species	Site	Boat traffic/depth	n	% Imposex	RPSI
Neritidae	<i>Nerita versicolor</i> Gmelin 1791	Patanemo	Null/0.1 m	10	null	0.00
Muricidae	<i>Chicoreus brevifrons</i> (Lamarck 1822)	Laguna La Restinga	High/1.5 m	18	100	4.65
Muricidae	<i>Chicoreus (Phylonotus)</i> <i>margaritensis</i> (Abbott 1958)	La Pared (Embarcadero)	Medium/1.5 m	12	100	0.32
Thaididae	<i>Purpura patula</i> (Linnaeus 1758)	Patanemo	Null/0.1 m	10	null	0.00
Fasciolariidae	<i>Fasciolaria tulipa</i> (Linnaeus 1758)	La Pared (off shore)	Low/5–10 m	5	null	0.00
Fasciolariidae	<i>Leucozonia nassa</i> (Gmelin 1791)	Marina La Caracola	High/0.5 m	10	68	70.54
Volutidae	<i>Voluta musica</i> Linnaeus 1758	La Pared (off shore)	Low/5–10 m	16	null	0.00

Ocurrencia de imposex

El sexo de los individuos fue determinado macroscópicamente por la presencia de la glándula del albumen, la glándula de la cápsula y la vagina en hembras, y la ausencia de estos caracteres en los machos. El color de las gónadas fue otra característica usada para sexar a los animales. El largo del pene en hembras y machos, y la longitud total de los individuos fueron medidos con un vernier bajo lupa estereoscópica. Para cada especie y localidad se calculó el porcentaje de hembras que presentaban imposex, así como el índice relativo del largo del pene (RPSI, por sus siglas en inglés) mediante:

$$\text{RPSI} = \frac{\overline{\text{LP}}_h^3}{\overline{\text{LP}}_m^3} \times 100$$

donde $\overline{\text{LP}}_h$ es el largo medio del pene en hembras y $\overline{\text{LP}}_m$ es el largo medio del pene en machos (*sensu* Gibbs y Bryan 1994) (tabla 1).

Dado el gran número de embarcaciones pintadas con anti-incrustantes en la Laguna La Restinga, realizamos una encuesta entre pescadores artesanales, trabajadores de astilleros y dueños de barcos ($n = 20$) de la zona con el fin de determinar la frecuencia en que los cascos de las embarcaciones son pintados, y la composición química de las pinturas anti-incrustantes que se venden.

Resultados y Discusión

Se observó imposex en la Isla Margarita en aguas costeras y cuerpos de agua cerrados con concentración de embarcaciones altas o medias y una frecuencia de pintado de cascos entre 3 y 6 meses, mientras que en aguas más oceánicas de la isla o

Patanemo (fig. 1), an exposed oceanic sandy beach with a rocky shore at the east side, characterized by very low marine traffic. The locations surveyed at Margarita Island were La Restinga Lagoon, La Caracola and La Pared. La Restinga Lagoon is a coastal lagoon characterized by high boating activity, with muddy bottoms covered by patches of the turtle seagrass *Thalassia testudinum* and extensive mangrove formations (see Bigatti *et al.* 2005). La Caracola is a sports marina with a docking facility for non-fishing vessels. At La Pared, a more exposed oceanic location, two sites were sampled: the first was a dock used by fishing vessels and the second was offshore in an area with low marine traffic (table 1).

Imposex occurrence

Macroscopically, sex was determined by the presence of the albumen gland, the capsule gland and the vagina in females, and the absence of these characters in males. Gonad color was another characteristic used to sex the animals. Penis length and total length of individuals were measured by calipers under a stereomicroscope. For each species and locality, the percentage of females showing imposex was calculated, as well as the relative penis size index (RPSI) using the following equation:

$$\text{RPSI} = \frac{\overline{\text{LP}}_f^3}{\overline{\text{LP}}_m^3} \times 100$$

where $\overline{\text{LP}}_f$ is the mean length of female penis and $\overline{\text{LP}}_m$ is the mean length of male penis (*sensu* Gibbs and Bryan 1994) (table 1).

Given the high number of vessels painted with antifouling products at La Restinga Lagoon, we polled artisanal fishers,

del continente con bajo nivel de tránsito marino, el fenómeno de imposex no fue detectado. Las especies afectadas fueron *Chicoreus brevifrons*, *Chicoreus (Phylonotus) margaritensis* y *Leucozonia nasa*, en las cuales el imposex se detectó como una neoformación de pene en las hembras; sin embargo no se encontraron individuos con el conducto deferente ocluyendo la vagina (fig. 2). El RPSI varió entre 0.72 en *C. (Phylonotus) margaritensis* hasta 70.54 en *L. nasa*, valores que podrían estar relacionados con una respuesta diferencial de las especies sometidas a concentraciones de TBT (Smith 1981, Gooding *et al.* 1999). No fue posible obtener las mismas especies en las distintas localidades, pero en el caso de la familia Muricidae, muestreada sólo en Isla Margarita, el imposex fue de 100% en la laguna costera al igual que en las aguas abiertas en las costas de la isla, pero el RPSI fue más de 14 veces mayor en el área cerrada que en la costa de mar abierto (tabla 1). Esto podría estar denotando que la persistencia de contaminación por TBT en la laguna fue mayor que en el mar abierto. Por otro lado *L. nasa* presentó una gran incidencia de imposex con valores extremadamente altos de RPSI, sugiriendo que en esta especie la neoformación de caracteres sexuales masculinos es más evidente. Estas especies podrían ser buenos indicadores para futuros y más exhaustivos estudios sobre polución por TBT en las costas de Venezuela. Las otras especies examinadas, provenientes de sitios con baja o nula actividad náutica, no mostraron incidencia de imposex (tabla 1). Debido al bajo número de muestras obtenidas, es posible que no se haya detectado alguna baja incidencia del fenómeno en esta área. Por lo que hemos podido encontrar en la literatura no existen reportes previos de imposex en *Fasciolaria tulipa* y *Nerita versicolor*, pero en el caso de *Voluta musica* el fenómeno de imposex fue detectado en el Estado Sucre, en Venezuela (Miloslavich *et al.* sin publicar). Dentro de la familia Volutidae se han detectado otras especies con imposex en las costas del

shipyard workers and boat owners ($n = 20$) at this site in order to determine the frequency with which the vessels were repainted in the zone, as well as the chemical composition of the paints bought at the warehouses and used on the boats.

Results and discussion

Imposex was observed in coastal and enclosed waters of Margarita Island with a high or medium concentration of boats and with a painting frequency of 3–6 months, while in mainland and island open waters with low marine traffic, imposex was not observed. The species affected were *Chicoreus brevifrons*, *Chicoreus (Phylonotus) margaritensis* and *Leucozonia nasa*, in which imposex was detected as a neoformation of a penis in females; however, no individuals with a vagina obstructed by a newly developed vas deferens were observed (fig. 2). The RPSI varied from 0.72 in *C. (Phylonotus) margaritensis* to 70.54 in *L. nasa*, values that could be related to a differential response of each species to TBT exposure (Smith 1981, Gooding *et al.* 1999). It was not possible to obtain the same species at all locations, but in the case of the Muricidae family, sampled only at Margarita Island, imposex was 100% in an enclosed lagoon as in the outside and open coast of the island, but RPSI was over 14 times higher in the closed area than on the open coast (table 1). It should be noted that the persistence of TBT contamination in the lagoon was higher than on the open coast. On the other hand, *L. nasa* presented a high incidence of imposex with an extremely high RPSI, suggesting that in this species the neoformation of masculine sexual characters is more evident. These species would be good bioindicators for more extensive future studies of TBT pollution along the Venezuelan coastline. The other species examined from sites with low or zero boating activities showed no incidence of imposex (table 1). It is possible that any low

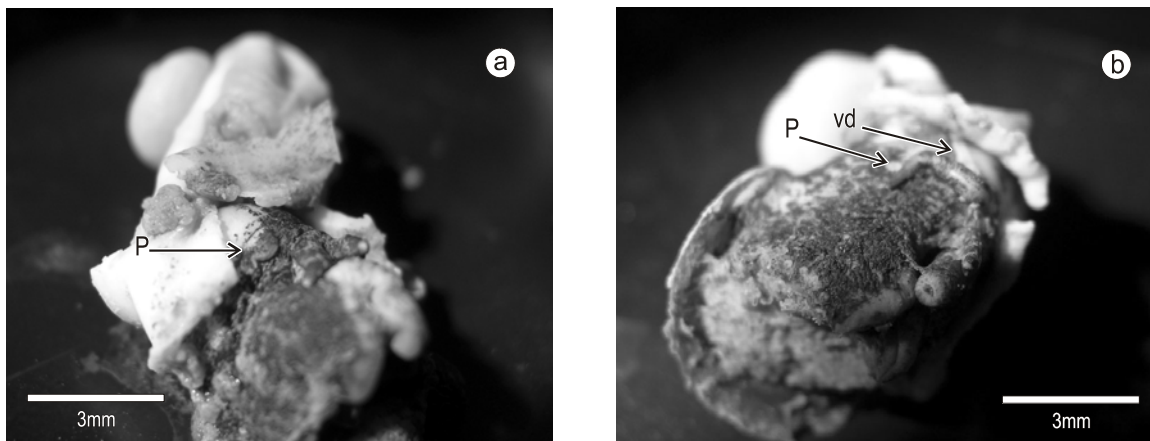


Figura 2. Imposex en la Laguna La Restinga, Isla Margarita. (a) Hembra de *Chicoreus brevifrons* mostrando la formación de un pene (P). (b) Macho de *Chicoreus brevifrons* mostrando el conducto deferente (vd).

Figure 2. Imposex at La Restinga Lagoon, Margarita Island. (a) Female of *Chicoreus brevifrons* showing the formation of a penis (P). (b) Male of *Chicoreus brevifrons* showing the penis and vas deferens (vd).

noreste de Brasil (Castro *et al.* 2007) y en Argentina (Bigatti y Penchaszadeh 2005, Cledón *et al.* 2006, Bigatti y Carranza 2007), por lo que el hecho de que no se haya detectado imposex en *V. musica* es debido probablemente a la ausencia de TBT en los sedimentos de esa área.

Los resultados de la encuesta realizada indicaron que en 80% de los casos los cascos de los barcos son repintados cada 3 a 6 meses, y en el 20% restante una vez al año. Estas mismas encuestas indican que las pinturas anti-incrustantes que contienen TBT fueron utilizadas desde 2 o 3 años antes de realizado este estudio, pero no luego. En los almacenes navales de la Isla Margarita se venden cinco marcas de pinturas anti-incrustantes, tres de ellas compuestas por xileno, silicatos, FeO₂ y CuO₂, una compuesta mayormente por xileno y aluminio, y la última compuesta principalmente de "cobre y óxido de estaño" según indicaba la etiqueta.

La persistencia del TBT en el agua es de 3 días a 35 semanas, mientras que en los sedimentos su descomposición se lleva a cabo entre 16 semanas y 15 años (Stewart y de Mora 1990). Nuestros resultados demuestran que los efectos biológicos del TBT persisten en el Caribe sur, por al menos dos años, y pueden tener severas consecuencias para el éxito reproductivo en algunas especies de gasterópodos. Por otra parte, se han reportado efectos del cobre, triazina y TBT en la mortalidad de larvas de peces (Granmo *et al.* 2002). La sustitución de las pinturas anti-incrustantes con nuevos productos libres de TBT, cobre, hierro y aluminio deben ser probadas experimentalmente para conocer su efecto nocivo hacia la biota. Goldberg *et al.* (2004) encontraron altas concentraciones de TBT en cápsulas ovígeras de un caracol volutido comestible, lo que implica que el TBT es incorporado en el metabolismo del gasterópodo y podría estar afectando a los humanos que consumen estas especies. Se pueden esperar otros efectos nocivos del TBT tales como acumulación en tejidos de ostras (Shim *et al.* 1998) y malformaciones en conchas de bivalvos (Oberdörster y Cheek 2000), resultando perjudiciales para especies comestibles y cultivadas como es el caso de algunas especies en Isla Margarita.

Este es el primer reporte de imposex en Venezuela, pero son necesarias otras investigaciones para determinar la dispersión de la contaminación por TBT usando las especies afectadas en el presente trabajo como bioindicadores de contaminación por TBT. El monitoreo de TBT y el uso de gasterópodos como organismos indicadores (Oehlmann *et al.* 1996b, Minchin y Minchin 1997) podrían ser una valiosa herramienta para establecer la extensión de la contaminación por TBT en las costas de Venezuela, conjuntamente con un análisis de la composición química de agua y sedimentos en las zonas afectadas por imposex.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por una beca del Decanato de Investigación y Desarrollo para P. Miloslavich, por una beca de CONICET para G. Bigatti y por un Proyecto de Cooperación

incidencia en estas áreas fue por debajo de los límites de detección debido a los pequeños tamaños de muestra. Hasta donde sabemos, no hay reportes previos de imposex en *Fasciolaria tulipa* y *Nerita versicolor*, pero en el caso de *Voluta musica*, imposex fue detectado en el Estado Sucre, Venezuela (Miloslavich *et al.* unpublished). Dentro de la familia Volutidae, otras especies que muestran imposex han sido reportadas para el noreste de Brasil (Castro *et al.* 2007) y Argentina (Bigatti y Penchaszadeh 2005, Cledón *et al.* 2006, Bigatti y Carranza 2007), por lo que el hecho de que no se haya encontrado imposex en *V. musica* es probablemente debido a la ausencia de TBT en los sedimentos de la zona.

Los resultados indicaron que el reverso de los barcos fue repintado cada 3–6 meses en el 80% de los casos y una vez al año en el restante 20%. También se demostró que las pinturas antifouling que contienen TBT habían sido utilizadas hasta 2–3 años antes de este estudio, pero no desde entonces. Cinco marcas de pinturas para uso en barcos en la Isla Margarita fueron almacenadas en los almacenes: tres fueron compuestas principalmente de xileno, silicatos, FeO₂ y CuO₂; una fue compuesta de xileno y aluminio; y una fue compuesta de cobre y óxidos de estaño.

La persistencia de TBT en el agua ha sido reportada para durar desde 3 días hasta 35 semanas, mientras que en los sedimentos, la descomposición toma desde 16 semanas hasta 15 años, dependiendo del hábitat (Stewart y de Mora 1990). Nuestros resultados indican que los efectos biológicos del TBT persisten en el Caribe sur por al menos dos años, y pueden tener consecuencias mucho más largas para la reproducción exitosa de algunas especies de gasterópodos. Por otro lado, los efectos del cobre, triazina y TBT en la mortalidad de larvas de peces han sido reportados (Granmo *et al.* 2002). La sustitución de las pinturas antifouling por nuevos productos libres de TBT, cobre, hierro y aluminio deben ser probadas experimentalmente, para detectar cualquier efecto nocivo sobre la biota. Goldberg *et al.* (2004) encontró altas concentraciones de TBT en cápsulas de un caracol volutido comestible, lo que implica que el TBT es incorporado en el metabolismo del gasterópodo y podría estar afectando a los humanos que consumen estas especies. Se pueden esperar otros efectos nocivos del TBT tales como acumulación en tejidos de ostras (Shim *et al.* 1998) y malformaciones en conchas de bivalvos (Oberdörster y Cheek 2000), lo que se espera que sea perjudicial para especies comestibles y cultivadas como es el caso de algunas especies en la Isla Margarita.

Este es el primer reporte de imposex en Venezuela, pero se necesitan más investigaciones para determinar la dispersión de la contaminación por TBT usando las especies afectadas en el presente trabajo como bioindicadores de contaminación por TBT. El monitoreo de TBT y el uso de gasterópodos como organismos indicadores (Oehlmann *et al.* 1996b, Minchin y Minchin 1997) podrían ser una valiosa herramienta para establecer la extensión de la contaminación por TBT en las costas de Venezuela, conjuntamente con un análisis de la composición química de agua y sedimentos en las zonas afectadas por imposex.

Acknowledgements

This project was supported by a Decanato de Investigación y Desarrollo grant to P. Miloslavich, by a CONICET grant to G. Bigatti and by an International Cooperation Project CONICET-FONACIT (Res.1542/06). The authors thank C. Weinberger for

Internacional CONICET-FONACIT (Res.1542/06). Agradecemos a C Weinberger por la asistencia en el campo y a C Sánchez-Antelo por su ayuda con el procesamiento de las muestras.

Referencias

- Bigatti G, Penchaszadeh PE. 2005. Imposex in *Odontocymbiola magellanica* (Gmelin 1791) (Caenogastropoda: Volutidae) in Patagonia. *Commun. Soc. Malacol. Uruguay* 9: 377–379.
- Bigatti G, Carranza A. 2007. Phenotypic variability associated with the occurrence of imposex in *Odontocymbiola magellanica* (Gmelin 1791) from Golfo Nuevo, Patagonia. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 87: 755–759.
- Bigatti G, Miloslavich P, Penchaszadeh PE. 2005. Sexual differentiation and size at first maturity of the invasive mussel *Perna viridis* (Linnaeus 1758) (Mollusca: Mytilidae) at La Restinga Lagoon (Margarita Island, Venezuela). *Am. Malacol. Bull.* 20: 65–69.
- Bryan GW, Gibbs PE, Hummerstone LG, Burt GR. 1986. The decline of the gastropod *Nucella lapillus* around south-west England: Evidence for the effect of tributyltin from antifouling paints. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 66: 611–640.
- Caetano CHS, Absalao RS. 2002. Imposex in *Olivancillaria vesica vesica* (Gmelin) (Gastropoda, Olividae) from a southeastern Brazilian sandy beach. *Rev. Bras. Zool.* 19: 215–218.
- Castro de IB, Matthews-Cascon H, Fernandez MA. 2000. Imposex em *Thais haemastoma* (Linnaeus, 1767) (Mollusca: Gastropoda) uma indicacao da cotaminacao por organoestânicos na costa do municipio de Fortaleza, Ceará, Brasil. *Arq. Cien. Mar. Fortaleza* 33: 143–148.
- Castro de IB, de Meirelles CAO, Matthews-Cascon H, Rocha-Barreira CA, Penchaszadeh PE, Bigatti G. 2007. Imposex in endemic volutid from northeast Brazil (Mollusca: Gastropoda). *Braz. Arch. Biol. Technol.* 30: in press.
- Cledón M, Theobald N, Gerwinski W, Penchaszadeh PE. 2006. Imposex and organotin compounds in marine gastropods and sediments from the Mar del Plata coasts, Argentina. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 86: 5211–5215.
- Evans SM, Nicholson GJ. 2000. The use of imposex to assess tributyltin contamination in coastal waters and open seas. *Sci. Total Environ.* 258: 73–80.
- Fernandez MA, Limaverde AM, Braga de Castro I, Martins-Almeida AC, de Luca Rebelio-Wagener A. 2002. Occurrence of Imposex in *Thais haemastoma*: Possible evidence of environmental contamination derived from organotin compounds in Rio de Janeiro and Fortaleza, Brazil. *Artigo Article, Cac. Saúde Pública, Rio de Janeiro* 18: 463–476.
- Gibbs PE. 1996. Oviduct malformation as a sterilising effect of tributyltin (TBT)-induced imposex in *Ocenebra erinacea* (Gastropoda: Muricidae). *J. Molluscan Stud.* 62: 403–413.
- Gibbs PE, Bryan GW. 1994. Biomonitoring of tributyltin (TBT) pollution using the Imposex response of neogastropod molluscs. field assistance and C Sánchez-Antelo for laboratory assistance.
- Chap. 9. In: Kramer KJM (ed.), *Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries*. CRC Press, Boca Ratón, Florida, pp. 205–226. .
- Goldberg R, Averbuj A, Cledón M, Luzzatto D, Sbarbati Nudelman N. 2004. Search for triorganotins along the Mar del Plata (Argentina) marine coast: Finding of tributyltin in egg capsules of a snail *Adelomelon brasiliensis* (Lamarck 1822) population showing imposex effects. *Appl. Organometall. Chem.* 18: 117–123.
- Gómez A. 1999. Los Recursos Marinos Renovables del Estado Nueva Esparta, Venezuela. *Biología y Pesca de las Especies Comerciales*. Tomo I. Invertebrados y Algas. Fondo Editorial del Estado Nueva Esparta, CONICIT, Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, Fundación Museo del Mar, Venezuela, 208 pp.
- Gooding M, Gallardo C, Leblanc G. 1999. Imposex in three marine gastropod species in Chile and potential impact on muriciculture. *Mar. Pollut. Bull.* 38: 1227–1234.
- Granmo A, Ekelund R, Snell JA, Berggren M, Svavarsson J. 2002. Effects on antifouling paint components (TBTO, copper and triazine) on the early development of embryos in cod (*Gadus morhua* L.). *Mar. Pollut. Bull.* 44: 1142–1148.
- Minchin A, Minchin D. 1997. Dispersal of TBT from a fishing port determined using the dogwhelk *Nucella Lapillus* as an indicator. *Environ. Technol.* 18: 1225–1234.
- Oberdörster E, Cheek AO. 2000. Gender benders at the beach: Endocrine disruption in marine and estuarine organisms. *Environ. Toxicol. Chem.* 20: 23–36.
- Oehlmann J, Fioroni P, Stroben E, Markert B. 1996a. Tributyltin (TBT) effects on *Ocenebra aciculata* (Gastropoda: Muricidae): Imposex development, sterilization, sex change and population decline. *Sci. Total Environ.* 188: 205–223.
- Oehlmann J, Stroben E, Schulte-Oehlmann U, Fioroni P, Markert B. 1996b. Tributyltin biomonitoring using prosobranchs as sentinel organisms. *Fresenius J. Anal. Chem.* 354: 540–545.
- Penchaszadeh PE, Leon CA, Alvarez H, Bone D. 2000. The coastline of Venezuela. Chap. 41. In: Sheppard C (ed.), *The Seas at the Millennium*. Elsevier Publ., pp. 643–661.
- Penchaszadeh PE, Averbuj A, Cledón M. 2001. Imposex in gastropods from Argentina (South-western Atlantic). *Mar. Pollut. Bull.* 42: 790.
- Shim WJ, Oh JR, Kahng SH, Shim JH, Lee SH. 1998. Accumulation of tributyl and triphenyltin compounds in Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, from the Chinhae Bay System, Korea. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 35: 41–47.
- Smith BJ. 1981. Tributyltin compounds induce male characteristics on female mud snails *Nassarius obsoletus* = *Ilyanassa obsoleta*. *J. Appl. Toxicol.* 1: 141–144.
- Stewart C, de Mora SJ. 1990. A review of the degradation of tri(n-butyl)tin in the marine environment. *Environ. Technol.* 11: 565–570.

Recibido en noviembre de 2006;
aceptado en julio de 2007