

Imposex en la laguna de Términos, Campeche, México

Imposex in the laguna de Terminos, Campeche, Mexico

Faustino RODRÍGUEZ ROMERO

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado postal 70-305, México 04510, D. F. México. E-mail: faustrod@mar.icmyl.unam.mx y faustrod@yahoo.com.mx

Recibido: 29/10/2009 Fin de arbitraje: 24/09/2010 Revisión recibida: 27/11/2010 Aceptado: 17/12/2010

RESUMEN

Se realizó un estudio sobre la presencia del Tributilestaño (TBT) a través del análisis del fenómeno de imposex en tres especies de gasterópodos en el medio acuático de la laguna de Términos a fin de evaluar la masculinización de hembras de estos moluscos como consecuencia directa de la acción del TBT. Se recolectaron en total 124 organismos de los cuales 65 fueron sometidos al análisis anatómico en busca de la presencia de indicadores de masculinización, por la aparición de primordios de pene y del *vas deferens* en las hembras. Se encontraron resultados positivos en un 15,263% para el total de las hembras analizadas en dos especies: *Echinolittorina ziczac* de la Isla del Carmen (IRLP = 2,439) y *Nassarius (N.) vibex* del estero de Sabancuy (IRLP = 1,0741). Estos resultados demuestran una sorprendente salud con respecto al TBT en las aguas de la laguna de Términos a pesar de la actividad industrial y desarrollo social de esta región.

Palabras clave: TBT, imposex, gasterópodos

ABSTRACT

A study on the presence of tributyltin (TBT) was conducted through the analysis of the phenomenon of imposex on three gastropod species into the aquatic environment of the laguna de Terminos, Campeche for assessing the females masculinization as a direct result of the quantitative presence of the TBT. A total of 124 snails were collected of which 65 were subjected to the anatomical analysis in search of the presence of masculine indicators by the appearance of penis and the *vas deferens* in females. Positive results were found in a 15.263% for the two species: *Echinolittorina ziczac* from the Isla Del Carmen (IRLP = 2.439) and *Nassarius vibex* from Sabancuy estuary (IRLP = 1.0741). These results demonstrate a surprising good environmental health situation with regard to the TBT in the waters of the laguna de Terminos in spite of the industrial activity and social development in this region.

Key words: TBT, imposex, gastropods

INTRODUCCIÓN

El Tributyltin (TBT), es un biocida diseñado para actuar directamente en la superficie de los cascos de las embarcaciones con el fin de evitar la adhesión de organismos. Este compuesto no se queda confinado a las embarcaciones porque una vez que se produce la lixiviación en el agua de mar, tiene una tendencia fuerte a adherirse a las partículas del sedimento y de la biota que se encuentra en el cuerpo de agua y en el lecho marino. Compuestos organoestañosos como el tributilestaño, trifenilestaño y el difenilestaño, resultan muy peligrosos para las comunidades bióticas porque pueden ser ingeridos por los organismos y penetrar a través de las membranas biológicas (Bryan *et al.*, 1993; Yamada *et al.*, 1997). Se ha demostrado que la toxicidad del TBT en el ambiente marino es mayor que en el agua dulce (Fent, 1996; Gray *et al.*, 1987; Tas *et al.*, 1996) aún a

concentraciones de nanogramos por litro y su presencia por periodos prolongados permite que se distribuya en forma extensiva en el medio (Laughlin y Linden, 1987; Cleary, 1991; Cortez *et al.*, 1993) en forma persistente, en particular en sedimentos donde puede permanecer por décadas con niveles de alta toxicidad (Chau *et al.*, 1997; Maguire *et al.*, 1997; Stewart, 1996). A principios de la década de los 1970s, se descubrió, una anomalía de masculinización en el desarrollo de las características sexuales de hembras de moluscos gasterópodos, que identificada con el nombre de imposex fue relacionada con la presencia del TBT y causaba una alta mortalidad de las hembras y disminución de las poblaciones locales con peligro de extinción (Gibbs y Bryan, 1986; Bryan *et al.*, 1986). Estos efectos, asociados a la presencia de TBT, fueron encontrados en varias especies de gasterópodos intermareales en otras áreas costeras (Ward, 1988; Ellis y Pattisna,

1990). Se ha demostrado que el impacto de TBT no queda restringido a los moluscos ya que se han encontrado consecuencias de éste en una amplia variedad de organismos incluyendo aves y mamíferos (Iwata *et al.*, 1995; Kannan y Falandysz, 1997).

En América Latina, la ocurrencia de imposex ha sido observada por investigadores como Gooding *et al.*, (1999) y Huaquín *et al.*, (2004) en Chile; por Braga de Castro *et al.*, (2000, 2008), (Cardoso *et al.*, (2009), Bezerra *et al.*, (2010) en Brasil; Penchaszadeh *et al.*, (2001), Bigatti y Penchazadeh (2005) en Argentina; por Miloslavich *et al.*, (2007) en Venezuela; y por Gravel *et al.*, (2006), en Costa Rica; así como por estudios realizados en las costas del sur del Atlántico y el Pacífico realizados por Caetano y Absalão (2002), Fernández *et al.*, (2002) y Goldberg *et al.*, (2004). Todos ellos han confirmando la relación entre la ocurrencia de imposex y la concentración del TBT en el agua, los sedimentos y cápsulas de huevos. En México, no se conocen estudios que indiquen el estado de salud de las aguas costeras con respecto a compuestos organo-estánicos, particularmente el TBT, a pesar del gran interés que reviste su evaluación, que permite medir el impacto sobre los recursos bióticos costeros en las regiones de fuerte movimiento de embarcaciones.

En vista que, el impacto de estas actividades se puede medir indirectamente a través del estudio del imposex y de que este fenómeno aún es objeto de investigación en moluscos y otros organismos, es objeto del presente trabajo realizar un relevamiento de la presencia del TBT en aguas costeras de la laguna de Términos en una zona de gran actividad en la extracción del petróleo crudo, mediante el monitoreo en 3 especies de moluscos gasterópodos comunes de esa región: *Nassarius vibex* (Say, 1822), porque se has probado recientemente su utilidad como bioindicador de TBT en aguas estuarinas (Bezerra *et al.*, 2010; Marshall and Rajkumar, 2003) incluida la modalidad de bivalvia en las hembras con imposex (Cardoso *et al.*, 2009); *Echinolittorina ziczac* (Gmelin, 1791), porque aunque aun cuando no se tiene registro sobre el impacto del TBT en esta especie, se ha documentado que en otros géneros de la familia Littorinidae, existen taxa como *Littorina littorea* y *L. sitkana* que han sido reconocidas como especies centinelas de contaminación para varias sustancias tóxicas incluido el TBT, por su manifestación de intersexo cuya utilidad ha sido recomendada para estudios de imposex (Barroso *et al.*, 2000; Nohara, 1999) y *Cerithium lutosum*

(Menke, 1828), porque se trata de una especie abundante, común en la región de estudio y porque, aunque no se conocen informes de imposex, se sabe que a pesar de ser una especie afálica, presenta la característica de copulación interna con sexos diferenciados y gonoductos paliales abiertos en ambos sexos (Cannon, 1975; Houbbrick, 1980) y no se han agotado las posibilidades de alguna manifestación anatómica en esta especie ante el impacto del TBT.

El objetivo fue evaluar la masculinización de hembras de tres especies de gasterópodos en el medio acuático de la laguna de Términos, México, como consecuencia directa de la acción del TBT.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La laguna de Términos es un cuerpo de agua somero en el estado de Campeche, México. Cubre un área aproximada de 2,500 km². La barrera natural que la separa de las aguas del Golfo de México, es la Isla del Carmen, con aproximadamente 40 km de largo y 3 km de ancho, con dos bocas: al oriente la boca de Puerto Real y al occidente la boca del Carmen; en la primera se observa un flujo de entrada de agua permanente y por la segunda el agua fluye hacia el mar (Figura 1). Los rasgos hidrográficos más característicos del área, son los sistemas fluvio-lagunares que descargan sus aguas en la costa suroeste de la laguna de Términos, provenientes del sistema fluvial más notable del país, formado por los ríos Grijalva, Usumacinta y sus afluentes que se comunican a la laguna de Términos a través de la boca de Atasta (Figura 1). En el extremo oriental de la laguna de Términos desembocan una serie de pequeños arroyos, de los cuales los más notables son: Chivojá Grande, Chivojá Chico, Colax y Lagartero así como el Estero Sabancuy.

El clima es cálido húmedo con lluvias durante el verano, con valores de precipitación que van de 1,200 a 2,000 mm de promedio anual. La temperatura ambiente media anual es de 27°C, con valores máximos de 36°C en el verano y mínimos de 17°C en el invierno. Yáñez-Arancibia y Day (1982) definen tres épocas o "estaciones" bien caracterizadas a lo largo del año: a) Época de lluvias de junio a septiembre; b) Época de nortes en los meses de noviembre, diciembre y enero. c) Época estival. El régimen de mareas es del tipo mixto con un rango de 0,5 m aproximadamente. El agua penetra a la laguna

en ciclos periódicos con duración aproximada de 15 horas. El factor determinante de la circulación del agua en la laguna son los vientos dominantes del noreste-sureste, por lo que el flujo neto de la masa de agua es de dirección este a oeste (Mancilla y Vargas, 1980). La corriente litoral se efectúa en dos sentidos, hacia el este y oeste, siendo esta última más acentuada. La corriente de agua marina que penetra por la boca Puerto Real, es paralela a la costa lagunar de la Isla del Carmen estando caracterizada por aguas claras y vegetación sumergida, saliendo a través de la boca del Carmen. Sin embargo, por la boca del Carmen, también se observa entrada de agua marina afectando a más de un tercio de la laguna, en donde las aguas son turbias por el aporte de sedimentos en suspensión en las aguas drenadas de los sistemas fluvio-lagunares. La mezcla de los dos tipos de aguas: marina y lagunar, produce un efecto buffer impidiendo que el agua marina fluya directamente a la costa sureste de la laguna. Phleger y Ayala-Castañares (1971) reconocen la presencia de dos grandes deltas, uno en el interior de la laguna, frente a la boca Puerto Real, con abundantes sedimentos calcáreos transportados por las fuertes corrientes de

agua marina, y otro fuera de la boca del Carmen con sedimentos terrígenos finos llevados por las aguas continentales. La salinidad del agua en el interior de la laguna varía en relación a las estaciones, correspondiendo los valores máximos a la región oriental durante la época de sequía o estival. Estos mismos autores encontraron valores que oscilaron entre 25,0‰ y 36,5‰ de salinidad en la parte noreste de la laguna próxima a la boca de Puerto Real y en la porción sur y occidental de 28‰ a 0‰. Carvajal (1973) señala valores promedio de 33‰ para la época de secas y 26,0‰ para la temporada de lluvias. La temperatura muestra variaciones estacionales a lo largo del año, especialmente durante la estación de Nortes y los meses más cálidos; sin embargo se puede considerar que se mantiene en un rango promedio de 29,9 °C (Torral, 1971).

Procesos sociales

El área de protección de Flora y Fauna de la laguna de Términos, comprende una superficie de 705.016 has. Según el conteo de población, en este municipio la población ha aumentado de 1950, con



Figura 1. Zonas de muestreo de tres especies de gasterópodos en la laguna de Términos y sistemas fluvio-lagunares anexos: A= El Guanajal (18°37'49,62" N; 91°49'45,59" O), B= Puente Zacatal-Isla del Carmen (18°37'48,91" N; 91°31'51,63" O), C= Ribera del Mercado (18°38'25,14" N; 91°50'21,48" O), D= Puerto Real (18°46'44,83" N; 91°31'51,62" O), E= Santa Rosalía Sabancuy (18°59'21,93" N; 91°11'4,03" O) en Campeche, México.

23.999 a 2005 con 199.988 habitantes (INEGI, 2006). En el país, esta región natural protegida es la única que incluye dentro de sus límites a una ciudad como Ciudad del Carmen y constituye una de las áreas naturales protegidas más pobladas de México. Esta ciudad está asociada a la producción del 71% de la producción nacional del petróleo de México. Ha generado una migración de las empresas de servicios y de consultoría de la Ciudad de México, Tamaulipas y Veracruz hacia Ciudad del Carmen, Campeche. (Boisier, 1986). Paralelo a estas actividades, también se encuentran la ganadería, la agricultura, la industria cocotera y la artesanal.

Especies en estudio

Nassarius vibex (Say, 1822), *Echinolittorina ziczac* (Gmelin, 1791) y *Cerithium lutosum* (Menke, 1828).

En total se recolectaron 124 caracoles en las 3 especies, de los cuales 57 correspondieron a *C. lutosum*, 17 a *N. vibex* y 50 a *E. ziczac* (Figura 2). De esta muestra, se seleccionaron para el estudio de imposex un total de 65 individuos, 23 de *C. lutosum*, 17 de *N. vibex* y 25 de *E. ziczac*. Los organismos fueron recolectados entre abril y mayo de 2007 y 2008, identificados taxonómicamente y separados en acuarios independientes con agua filtrada obtenida en los sitios de colecta. *C. lutosum* y *N. vibex*, proceden del estero de Sabancuy (18°59'21,93"N; 91°11'4,03"O) en la región conocida como Santa Rosalía, a profundidades entre 1,0 y 1,5 m, mientras que las muestras de *E. ziczac* fueron obtenidas en la zona intermareal de las siguientes localidades: El Guanál, (18°37'49,62"N; 91°49'45,59"O) en los 2 lados del puente Isla del Carmen-Zacatal,

(18°37'48,91"N; 91°31'51,63"O) en la playa del Mercado (18°38'25,14"N; 91°50'21,48"O) y en Puerto Real, Isla del Carmen (18°46'44,83"N; 91°31'51,62").

Procesamiento de los organismos

Se realizaron disecciones en cada uno de los especímenes de las tres especies con el fin de ubicar el aparato reproductor. La longitud del pene en *Nassarius* (*Nassarius*) *vibex* y *Echinolittorina* *ziczac* fue determinada mediante el uso de un Calibre vernier a una precisión de 0,1 mm, midiendo desde su base a la punta del mismo. Se cuantificó el porcentaje de hembras con imposex de acuerdo con el procedimiento de Gibbs y Bryan (1994), para cada organismo que lo presentó. Para la determinación del sexo se tomaron en cuenta los rasgos anatómicos característicos del sexo tales como próstata, conducto deferente, pene y vagina y se tomaron muestras del tejido gonádico para precisar mediante el uso de un microscopio de observación Zeiss a 40 y 100X, la presencia de óvulos o espermatozoides como un criterio adicional. En algunos de los organismos sacrificados, se tomaron muestras de tejido para estudios posteriores de citogenética de alta definición y caracterización cromosómica del sexo. Observaciones al microscopio estereoscópico de disección (American Optical) permitieron determinar la presencia de *vas deferens* en hembras y las mediciones de penes femeninos. En los casos en que se esbozó alguna alteración con presencia de masculinización y primordios de pene en hembras, se tomaron medidas relativas para definir el grado de imposex mediante el cálculo del Índice Relativo del largo del Pene (IRLP) de acuerdo con el procedimiento de Gibbs y Bryan (1994), mediante la



Figura 2. Fotos de las conchas de las tres especies en estudio. 1. *Nassarius vibex* (Say, 1822), de Santa Rosalía, Sabancuy. 2. *Cerithium lutosum* (Menke, 1828), de Santa Rosalía, Sabancuy. 3. *Echinolittorina ziczac* (Gmelin, 1791) representativa de los sitios de muestreo El Guanál, Puente Zacatal-Isla del Carmen, Ribera del Mercado, Puerto Real en Campeche, México.

fórmula:

$$\text{IRLP} = (\text{LPh}/\text{LPm}) \times 100$$

Donde:

LPh es el largo medio del pene en las hembras

LPm es el largo medio del pene en los machos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de cada uno de los organismos seleccionados en cada especie referentes al sexo y presencia o ausencia de rasgos anatómicos atípicos en los órganos sexuales externos, (Fretter 1941; Castillo y Brown 2008) fueron conjuntados en el Cuadro 1.

Las tres especies estudiadas mostraron diferentes proporciones entre hembras y machos. En *N. vivex* el 35,29% fueron machos y el 64,70% hembras, en *E. ziczac*, los machos fueron el 24% y las hembras el 76 % y para *C. lutosum*, la proporción fue de 13.04% machos por 86.95% hembras. Esta asimetría en la proporción de sexos resulta interesante aunque por el momento, no se tiene una explicación objetiva que la justifique. Las evidencias de imposex incipiente en su forma clásica, se presentaron en *N. vivex* y *E. ziczac* por ser especies fálicas. En el caso de *C. lutosum*, por ser una especie afálica, no se encontró ningún remedo de pene en las hembras, ni alteraciones a los rasgos sexuales externos de hembras y machos de acuerdo con la caracterización anatómica realizada por Cannon (1975) y Houbriick (1980), no obstante, en esta especie fue factible la determinación del sexo por la presencia al microscopio de óvulos en las hembras y espermatozoides en los machos, además de los rasgos anatómicos característicos. En el caso de las dos especies restantes, además de la presencia de óvulos y espermatozoides, fue relevante la presencia del *vas*

deferens en la observación al microscopio de disección de los machos. La evidencia sobre primordios de pene en dos hembras de la totalidad de organismos estudiados, se complementó con la presencia de muy discretos abultamientos que se interpretaron como el inicio incipiente de *vas deferens* en comienzo temprano del proceso de imposex probablemente dentro de la clasificación del Estado 1 propuesta por Huang *et al.*, (2008).

Las tres especies estudiadas están presentes en el área de estudio. *Cerithium lutosum* (Menke) y *Nassarius (Nassarius) vibex* (Say) son comunes en el estero de Sabancuy. *N. vivex*, fue elegida por su abundancia y porque se encuentra ampliamente avalada en la literatura como una especie indicadora sensible a la presencia de TBT. (Marshall y Rajkumar, 2003). Para la región urbana y suburbana de la isla del Carmen y la boca de Puerto Real, la especie seleccionada por ser la mas abundante y bien caracterizada sexualmente como indicadora de TBT, fue *Echinolittorina sp.* (Reid, 2009; Van den Broeck *et al.*, 2009; Bauer *et al.*, 1997). La cuidadosa identificación taxonómica de las especies estudiadas condujo a reconocer a *Echinolittorina sp.*, como *Echinolittorina ziczac* Gmelin, lo que ha constituido un hallazgo de nueva localidad geográfica para esta especie y para lo cual se encuentra en preparación un informe aparte. En el caso de la especie *Cerithium lutosum*, aunque no se encontraron evidencias de la presencia de un pene en machos en concordancia con el carácter afálico de esta especie no obstante que presenta una copulación interna con sexos diferenciados con presencia de gonoductos paliales abiertos en ambos sexos (Cannon, 1975; Houbriick, 1980) por ello, se optó por tomar muestras de tejido gonádico para definir citológicamente el sexo. A esta especie se decidió estudiarla en busca de indicadores atípicos en el sistema reproductor de las hembras atribuibles a la posible presencia del TBT. El análisis

Cuadro 1. Concentración de datos y mediciones de los organismos analizados en tres especies de gasterópodos de la laguna de Términos, Campeche, México.

Especie	Sitio de colecta	N(M:H)	IDI (%)	IRLP	Largo medio		DS
					M	H	
<i>Nassarius vibex</i>	E	17(7:10)	10,00	1,07	14,7	15,6	2,77
<i>Echinolittorina ziczac</i>	A.B.C.D	25(6:19)	5,26	2,44	6,3	6,3	0,85
<i>Cerithium lutosum</i>	E	23(3:20)	0,00	0,00	22,2	23,3	2,36
Total		65(11:54)	15,26				

A = El Guanal, B = Puente Zacatal-Isla del Carmen, C = Ribera del Mercado, D = Puerto Real y E = Santa Rosalía Sabancuy. N = Número de organismos, M = Machos, H = Hembras. IDI = Incidencia de imposex, IRLP = Índice relativo de la longitud del pene. y DS = Desviación estándar

practicado no permitió detectar alteraciones a la anatomía normal del aparato reproductivo de estos organismos.

En *N. vibex* y *E. ziczac*, no se observaron alteraciones en los organismos del sexo masculino que fueron estudiados; en *E. ziczac* por tratarse de una especie que por primera vez ha sido analizada para estudios de imposex, no se tienen registros en la literatura que permitan realizar comparaciones con otras poblaciones. Del análisis anatómico practicado a las hembras, solo dos organismos, uno en *E. ziczac* de 19 hembras y uno en *N. vibex* en 10 hembras, presentaron algún grado de imposex aunque incipiente en los dos casos, esto es que apenas el 15.263% de los organismos en estas dos especies en conjunto, presentarían alguna alteración con tendencias a la masculinización de hembras como sucede cuando está presente el TBT. Las alteraciones encontradas atribuibles a la posible presencia de TBT en los dos organismos de distintas especies, quedan dentro de el nivel de incipiente en la fase dos de acuerdo con la escala propuesta por Gibbs *et al.*, (1987) o como fase uno en la escala de Huang *et al.*, (2008). Quedaría pendiente un análisis exhaustivo para estudiar la posibilidad de la presencia del raro Síndrome de Dumpton caracterizado por la existencia de hembras con imposex pero sin pene y su posible uso como biomarcador de TBT en las especies aquí estudiadas como en el caso de *Nucella lapillus* en Galicia, España (Barreiro *et al.*, 2004).

La evidencia sobre primordios de pene en dos hembras de la totalidad de organismos estudiados, se complementó con la presencia de muy discretos abultamientos que se interpretaron como el inicio incipiente de *vas deferens* en el inicio incipiente del proceso de imposex. Esto se justificaría en la medida en que en el medio solo se pudieran encontrar cantidades de TBT por debajo de los umbrales de nanogramos por litro (Ruiz *et al.*, 1998; Van den Broeck *et al.*, 2009; Bauer *et al.*, 1997) en concordancia con el criterio de buena salud del medio acuático referido a este tóxico o que la presencia de este contaminante fuera tan reciente que apenas se iniciara la respuesta biológica de las especies en estudio sin embargo, esto último no parece ser el caso en vista de que el estudio consistió en el análisis de organismos adultos obtenidos durante los años de 2007 y 2008, aún cuando persiste la incertidumbre si en el pasado ha existido contaminación por TBT sin que nadie la hubiera registrado. Otra posibilidad podría estar relacionada con la dinámica de corrientes

tanto de aguas limnéticas como de origen marino en cuyo caso el flujo de aguas permitiera la dilución y el lavado eficiente de este contaminante antes de su impacto en las poblaciones de moluscos. La cuantificación por procedimientos de determinación química del TBT sería una forma de coadyuvar al esclarecimiento de este punto, aunque la abrumadora literatura sobre los estudios de imposex en gasterópodos, avalan ampliamente la confiabilidad de este indicador sobre la presencia peligrosa y el impacto del TBT en el medio acuático.

Una medida adicional indirecta para complementar el criterio sobre la salud del medio es el estudio de las posibles alteraciones al cariotipo normal de las especies que presentaron rastros de imposex, particularmente, en las hembras con estos indicios. Por ello, se tomaron muestras de tejido gonádico en hembras y machos de apariencia anatómica normal y en hembras con alguna anomalía, con el fin estudiar comparativamente los parámetros cariotípicos y bandas cromosómicas que pudieran indicar alteraciones tales como rompimientos cromosómicos y alguna correlación con el TBT en las hembras. Estos estudios se encuentran en proceso y serán divulgados posteriormente.

Este hallazgo sobre el sorprendente buen estado de salud de las aguas de los sistemas lagunares en la región de la laguna de Términos con respecto a la presencia del TBT, es contradictorio de lo que comúnmente se podría suponer en vista de la actividad industrial, el desplazamiento de embarcaciones de pescadores que se mueven dentro de las aguas de la laguna de Términos, el paso de embarcaciones mayores por las bocas de El Carmen y de Puerto Real y del crecimiento exponencial de la población de Ciudad del Carmen debido a la explotación del petróleo, que conlleva la producción de aguas residuales en las inmediaciones de la isla del Carmen, pero se puede explicar debido a la dinámica de recambio de aguas en la zona estudiada, tanto por el intenso movimiento de las aguas limnéticas procedentes de ríos que desembocan en el interior de la laguna, como al efecto de corrientes de aguas de origen marino que barren el margen de la Isla del Carmen con un comportamiento definido, y a la falta de uso de pinturas que contienen este contaminante en las embarcaciones de los pescadores de la región así como a la muy escasa actividad de embarcaciones de recreo que circulan por estas aguas. Es recomendable la vigilancia de la presencia de imposex mediante el análisis de especies de Neogasterópodos que puedan

encontrarse en esta región y de especies de bivalvos como ostiones del género *Crassostrea*.

AGRADECIMIENTOS

A Arturo Toledano Granados de la Estación Puerto Morelos ICMYL-UNAM por su valiosa ayuda en el trabajo de campo y por la identificación taxonómica de los ejemplares en estudio y a Carlos Illescas del ICMYL-CU, por las facilidades otorgadas para la fotografía de los organismos.

LITERATURA CITADA

- Barreiro, R.; M. Quintela y J. M. Ruiz. 2004. TBT e imposex en Galicia: los efectos de un disruptor endócrino en poblaciones de gasterópodos marinos. *Ecosistemas* 13: 14-32.
- Barroso, C. M.; M. H. Moreira and P. E. Gibbs. 2000. Comparison of imposex and intersex development in four prosobranch species for TBT monitoring of a southern European estuarine system (Ria de Aveiro, NW Portugal). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 201: 221-232.
- Bauer, B.; P. Fioroni, U. Schulte Oehlmann, J. Oehlmann and W. Kalbfus. 1997. The use of *Echinolittorina littorea* for tributyltin (TBT) effect monitoring-Results from the german TBT survey 1994/1995 and laboratory experiments. *Environmental Pollution* 96: 299-309.
- Bezerra, L. F.; I. Braga de Castro and C. A. Rocha Barreira. 2010. Imposex occurrence in *Nassarius vibex* from South America: a potencial bioindicator in estuarine environments. *Marine Biodiversity Records* 3 (e30): 1-4.
- Bigatti, G. and P. E. Penchaszadeh. 2005. Imposex in *Odontocymbola magellanica* (Caenogastropoda: Volutidae) in Patagonia. *Comunicaciones de la Sociedad Malacológica de Uruguay* 9(88): 371-375.
- Boisier, S. 1986. La articulación Estado-Región: Clave del desarrollo regional. *In*: H. Ávila Sánchez (COMP.). *Lecturas de Análisis Regional en América Latina y el Caribe*. Universidad Autónoma Chapingo (Ed.). México, D.F. p.309-335.
- Braga de Castro, I.; C. A. Oliveira de Meirelles, H. Matthews Cascon, C. de Almeida Rocha Barreira, P. Penchaszadeh and G. Bigatti. 2008. Imposex in endemic volutid from Northeast Brazil (Mollusca: Gastropoda). *Braz. Arch. Biol. Technol.* 51(5): 1065-1069.
- Braga de Castro, I.; H. Matthews Cascon e M. A. Fernández. 2000. Imposex em *Thais Haemastoma* (Linnaeus, 1767) (Mollusca: Gastropoda), uma indicação da contaminação por organoestânicos na costa do município de Fortaleza – Ceará – Brasil. *Arquivo de Ciências do Mar* 33: 51-56.
- Bryan, G. W.; D. A. Bright, L. G. Hummerstone and G. R. Burt. 1993. Uptake, tissue distribution and metabolism of ¹⁴C-labelled tributyltin (TBT) in the dog-whelk, *Nucella lapillus*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 73: 889-912.
- Bryan, G. W.; P. E. Gibbs; L. G. Hummerstone and G. R. Burt. 1986. The decline of the gastropod *Nucella lapillus* around England: evidence for the effect of tributyltin from anti-fouling paints. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 66: 611-640.
- Caetano, C. H. S. e R. S. Absalão. 2002. Imposex in *Olivancillaria vesica vesica* (Gmelin) (Gastropoda, Olividae) from a southeastern Brazilian sandy beach. *Revista Brasileira de Zoologia* 19: 215-218.
- Cannon, L. R. G. 1975. On the reproductive Biology of *Cerithium moniliferum* Kiener (Gastropoda, Cerithiidae) at Heron Island, Great Barrier Reef. *Pacific Science* 29: 353-359.
- Cardoso, R. S.; C. H. S. Caetano and T. M. B. Cabrini. 2009. Biphallia in imposexed females of marine gastropods: new record for *Nassarius vivex* from Brazil. *Braz. J. Biol.* 69(1): 223-224.
- Carvajal, R. 1973. Condiciones ambientales y productividad en la laguna de Términos, Campeche, México. *Laguna* 31: 35-38.
- Castillo, V. M. and D. I. Brown. 2008. Microscopic anatomy of the male reproductive system in *Echinolittorina peruviana* (Mollusca: Caenogastropoda). *International Journal of Morphology* 26: 423-432.
- Cleary, J. J. 1991. Organotin in the marine surface microlayer and subsurface waters of south-west England: Relation to toxicity thresholds and the U.K. Environmental Quality Standard. *Marine Environmental Research* 32: 213-222.

- Cortez, L.; P. Quevauviller, F. Martin and O. F. Donard. 1993. Survey of butyltin contamination in Portuguese coastal environments. *Environmental Pollution* 82 (1): 57-62.
- Chau, Y. K.; R. J. Maguire, M. Brown, F. Fang and S. P. Batchelor. 1997. Occurrence of organotin compounds in the Canadian aquatic Environment Five years after the regulation of antifouling uses of organotin. *Water Quality Research Journal of Canada* 32 (1): 453-521.
- Ellis, D. V. and L. A. Pattisna. 1990. Wide spread neogastropod imposex. A biological indicator of global TBT contamination. *Marine Pollution Bulletin* 21: 248-253.
- Fent, K. 1996. Ecotoxicology of organotin compounds. *Critical Reviews in Toxicology* 26: 1-117.
- Fernández, M. A.; A. M. Limaverde, I. Braga de Castro, A. C. Martins Almeida and A. de Luca Rebelio Wagener. 2002. Occurrence of imposex in *Thais haemastoma*: possible evidence of environmental contamination derived from organotin compounds in Rio de Janeiro and Fortaleza, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública* 18: 463-476.
- Fretter, V. 1941. The genital ducts of some British stenoglossan prosobranchs. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 25: 173-211.
- Gray, B. H.; M. Porvaznik, C. Fleming and L. H. Lee. 1987. Tri(n)butyltin: A membrane toxicant. *Toxicology* 47: 35-54.
- Gibbs, P. E. and G. W. Bryan. 1994. Biomonitoring of Tributyltin (TBT) Pollution using the Imposex Response of Neogastropod Molluscs. In: J. Kees and M. Kramer (EDS). *Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries*. CRC Press Boca Raton USA. p. 205-226.
- Gibbs, P. E. and G. W. Bryan. 1986. Reproductive failure in populations of the dog-whelk, *Nucella lapillus*, caused by imposex induced by tributyltin from antifouling paints. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 66: 767-777.
- Gibbs, P.; G.W. Bryan, P. L. Pascoe and G. R. Burt. 1987. The use of the dog-whelk, *Nucella lapillus*, as an indicator of tributyltin (TBT) contamination. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 67: 507-523.
- Goldberg, R. N.; A. Averbuj, M. Cledón, D. Luzzatto and N. Sbarbati. 2004. Search For triorganotins along the Mar de Plata (Argentina) marine coast: finding of tributyltin in egg capsules of snail *Adelomelon brasiliana* (Lamarck, 1822) (sic) population showing imposex effects. *Applied Organometallic Chemistry* 18: 117-123.
- Gooding, M.; C. Gallardo and G. Leblanc. 1999. Imposex in three marine gastropod species in Chile and potential impact on muriciculture. *Marine Pollution Bulletin* 38: 1227-1231.
- Gravel, P.; K. Johanning, J. McLachlan, J. Vargas and E. Oberdörster. 2006. Imposex in the intertidal snail *Thais brevidentata* (Gastropoda: Muricidae) from the Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 54 (Suppl. 1): 21-26.
- Houbrick, R. S. 1980. Observations on the anatomy and life history of *Modulu modulu* (Prosobrancha: Modulidae). *Malacologia* 20 (1): 117-142.
- Huang, C.; S. Zhu, J. Lin and Q. Dong. 2008. Imposex of *Mauritia Arabica* on the south-eastern coast of China. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88: 1451-1457.
- Huaquín, L. G.; C. Osorio, R. Verdugo and G. Collado. 2004. Morphological changes in the reproductive system of females *Acanthina monodon* (Pallas, 1774) (Gastropoda: Muricidae) affected by imposex from the coast of central Chile. *Invertebrate Reproduction and Development* 46: 111-117.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2006. Segundo Censo de Población y Vivienda 2005. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>. Consultado 17 de junio de 2009).
- Iwata, H.; S. Tanabe, T. Mizuno and R. Tatsukawa. 1995. High accumulation of toxic butyltins in marine mammals from Japanese coastal waters. *Environmental Science and Technology* 29: 2959-2962.

- Kannan, K. and J. Falandysz. 1997. Butyltin residues in sediment, fish, fish-eating birds, harbour porpoise and human tissues from the Polish coast of the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin* 34: 203-207.
- Laughlin, R. B. and O. Linden. 1987. Tributyltin - contemporary environmental issues. *Ambio* 16 (5): 252-256.
- Maguire, R. J.; Y. K. Chau and J. A. J. Thompson, 1997. Proceedings of the workshop on organotin compounds in the Canadian aquatic environment. Sidney, B.C., 19-20 February, 1996. NWRI Contribution No. 96-153. Document to MEPC 40/11, submitted by Canada.
- Mancilla, M. y M. Vargas. 1980. Los primeros estudios sobre el flujo neto de agua a través de la Laguna de Términos, Campeche. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología (Universidad Nacional Autónoma de México)* 7 (2): 1-12.
- Marshall, D. J. and A. Rajkumar. 2003. Imposex in the indigenous *Nassarius kraussianus* (Mollusca: Neogastropoda) from South African harbours. *Marine Pollution Bulletin* 46: 1150-1155.
- Miloslavich, P.; P. E. Penchazadeh and G. Bugatti. 2007. Imposex en Gasterópodos de Venezuela. *Ciencias Marinas* 33(3): 319-324.
- Nohara, M. 1999. Variation and Abnormality of Genital System in *Littorina sitkana* Philippi (Mollusca, Gastropoda) in Northern Japan. *Zoological Science* 16: 827-838.
- Penchaszadeh, P. E.; A. Averbuj and M. Cledón. 2001. Imposex in gastropods from Argentina (South Western Atlantic). *Marine Pollution Bulletin* 42: 790-791.
- Phleger, F. B. and A. Ayala Castañares. 1971. Processes and history of Terminos Lagoon, Mexico. *American Association of Petroleum Geologists* 55: 2130-2140.
- Reid, D. 2009. The genus *Echinolittorina* Habe, 1956 (Gastropoda: Littorinidae) in the western Atlantic Ocean. *Zootaxa* 2184: 1-103.
- Ruiz, J. M.; M. Quintela and R. Barreiro. 1998. Ubiquitous imposex and organotin bioaccumulation in gastropods *Nucella lapillus* from Galicia (NW Spain): a possible effect on nearshore shipping. *Marine Ecology Progress Series* 164: 237-244.
- Stewart, C. 1996. The efficacy of legislation in controlling tributyltin in the marine environment. In: S. J. De Mora (Ed.). Tributyltin. Case study of an environmental contaminant. Cambridge University Press, Cambridge. p. 264-296.
- Tas, J. W.; A. Keizer and A. Opperhuizen. 1996. Bioaccumulation and lethal body burden of four triorganotin compounds. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 57: 146-154.
- Toral, S. 1971. Estudios de los Cichlidae (Pisces, Perciformes) de la Laguna de Términos y sus afluentes. Tesis Profesional Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. 32 p.
- Van den Broeck, H.; H. De Wolf, T. Backeljau and R. Blust. 2009. Comparative assessment of reproductive impairment in the gastropod mollusk *Echinolittorina littorea* along the Belgian North Sea coast. *Science of the Total Environment* 407: 3063-3069.
- Ward, J. 1988. Antifouling paints threaten fisheries resources. *Naga: The ICLARM Quarterly*, p. 15.
- Yamada, H.; K. Takayanaga, M. Tateishi, H. Tagata and K. Ikeda. 1997. Organotin compounds and polychlorinated biphenyls of livers in squid collected from coastal waters and open oceans. *Environmental Pollution* 96: 217-226.
- Yáñez Arancibia, A. and J. W. Day Jr. 1982. Ecological characterization of Terminos Lagoon, a tropical lagoon estuarine system in the Southern Gulf of Mexico. *Oceanologica Acta* 5: 431-440.