



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

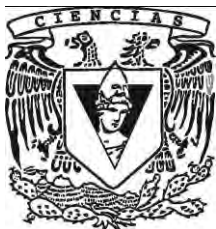
*Elysia crispata* (Mollusca: Sacoglossa: Elysiidae) como  
biomonitor de contaminación en tres arrecifes del  
Sistema Arrecifal Veracruzano, México.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A  
P R E S E N T A:

**CLAUDIA PATRICIA DORANTES MEJÍA**



**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. JORGE LUIS HERNÁNDEZ AGUILERA  
2010**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

1. **Datos del alumno**  
Dorantes  
Mejía  
Claudia Patricia  
56-31-05-23  
Universidad Nacional Autónoma  
De México  
Facultad de Ciencias  
Biología  
302063420
  
2. **Datos del tutor**  
Dr.  
Jorge Luis  
Hernández  
Aguilera
  
3. **Datos del Sinodal 1**  
Dra.  
Cecilia  
Robles  
Mendoza
  
4. **Datos del Sinodal 2**  
Dr.  
Jorge Alberto  
Mendoza  
Pérez
  
5. **Datos del Sinodal 3**  
M. en C.  
Sebastián Ricardo  
Zúñiga  
Lagunes
  
6. **Datos del Sinodal 4**  
M. en C.  
Marco Antonio  
Orozco  
Colunga
  
7. **Datos del trabajo escrito**  
*Elysia crispata* (Mollusca: Sacoglossa: Elysiidae) como biomonitor de  
contaminación en tres arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano, México.  
66 p.  
2010

## AGRADECIMIENTOS

*Cualquier trabajo implica un gran esfuerzo y mucha dedicación para lograr los objetivos planteados. El llegar al término de la elaboración de esta tesis ha significado mucho trabajo por parte de todas las personas en ella involucradas, sin ellas no hubiera sido posible dar por terminado este trabajo, por lo que quiero agradecer:*

*A Dios, por darme la fuerza, el entendimiento, y la paciencia necesaria para terminar este trabajo. Por poner en mi camino a las personas adecuadas para poder guiarme en la realización de la tesis. Por estar a mi lado todo el tiempo dándome fuerza para continuar y salir adelante.*

*A mis padres Alfonso y Ana, por enseñarme a luchar por mis ideales, por darme fuerza para no dejarme vencer en los momentos más difíciles, por darme la muestra de que se pueden alcanzar las metas propuestas, por todos sus consejos y todas las palabras de aliento en momentos difíciles, por el cariño y el amor que me han dado, por enseñarme que hay que enfrentar los problemas ya que siempre tienen solución por más difíciles que sean, por enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr objetivos, por todo el esfuerzo que han hecho para poderme dar la mejor herencia de todas que es la educación, simplemente quiero agradecerles el hecho de ser mis padres.*

*A mi hermana Flor por ser una gran amiga además de ser mi hermana, por escucharme y por darme ejemplo de la tenacidad que es muy importante para lograr el objetivo. A Rubén por brindarme ánimo.*

*A mi pequeño hermanito Emmanuel por la alegría que brinda a mi vida por ser el amigo que aunque pequeño sabe dar consejos, por el ánimo y la gran paciencia que me ha tenido a lo largo de este tiempo.*

*A ti Poncho por ser la persona que ha caminado a mi lado durante todo este largo proceso, por tu comprensión, cariño, paciencia, por darme tu apoyo y por toda la ayuda que me has brindado. Por compartir a mi lado momentos difíciles y momentos como estos de mucha felicidad.*

*Finalmente quiero agradecer a mi tutor Dr. Jorge Luis Hernández A. por la paciencia, por tu tiempo y por dirigirme durante la realización de este trabajo.*

*Así mismo, quiero agradecer al Dr. Jorge A. Mendoza P. por todo su tiempo y por la colaboración brindada durante toda la tesis.*

*A todos mis sinodales que se han dado el tiempo para revisar, corregir mi trabajo y por brindarme ayuda y orientación para poder entregar un mejor trabajo.*

Este estudio, es parte del proyecto de docencia-investigación implementado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo el esquema de Talleres, titulado **“Inventario y Monitoreo de la Biodiversidad de los Arrecifes Coralinos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano”** que se imparte en el Plan de Estudios de la licenciatura en Biología, del quinto al octavo semestre. El proyecto que inició en 2005, ha sido conducido por los profesores: Dr. Virgilio E. Arenas Fuentes, Dr. Jorge Luis Hernández Aguilera, M. en C. Rosa Estela Toral Almazán, † M. en C. José Alfredo Ruiz Nuño y M. en C. Marco Antonio Orozco Colunga. Para la realización de los trabajos de campo y base de datos bibliográfica, el taller ha sido apoyado por Estudio y Conservación de la Naturaleza, A. C.

Los académicos y alumnos del taller, agradecen a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, a través de la Dirección del Parque Nacional en Veracruz, los permisos para las diferentes estancias de investigación en los Arrecifes de Hornos, Isla Verde e Isla Sacrificios; a la Secretaría de Marina-Armada de México quien a través del Departamento de Parques Nacionales en la Tercera Zona Naval Militar de Veracruz, Ver. Otorgó los diversos permisos de desembarco; a la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, desarrollo Rural, Pesca y alimentación por los permisos de pesca de fomento números: DGOPA.01824.210307.0688 y DGOPA.04967.150508.1176, otorgados en el período de 2007-2009; Al Instituto Nacional de Pesca y a Vida Silvestre por sus diversas opiniones técnicas sobre el proyecto global, que no ha permitido obtener los correspondientes permisos de pesca de fomento.

Agradecemos, también, a la Unidad de Enseñanza del Área del Conocimiento de Biología, el espacio físico, servicio de cómputo y disponibilidad de microscopios y material en general otorgado en el Taller de Animales I, así como el apoyo de prácticas de campo, que nos facilitó los viajes de observación y recolecta de especímenes en los arrecifes estudiados.

# ÍNDICE

	<b>Págs.</b>
<b>RESUMEN</b> .....	8
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
Demografía .....	10
Cuencas hidrológicas .....	11
Agentes contaminantes .....	11
Organismos bioindicadores .....	15
<b>ANTECEDENTES</b> .....	16
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	18
<b>OBJETIVOS</b> .....	19
Objetivo general .....	19
Objetivo particular .....	19
<b>HIPÓTESIS</b> .....	19
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	20
Sistema Arrecifal Veracruzano .....	20
Arrecife de Isla Verde .....	22
Arrecife de Isla Sacrificios .....	23
Arrecife Hornos .....	24
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	25
Colecta de la muestra en campo .....	25
Tratamiento de las muestras en laboratorio (Metales) .....	26
Digestión .....	26
Análisis .....	27
Determinación de plaguicidas en los organismos .....	28
Tratamiento de las muestras (Hidrocarburos) .....	29
Análisis estadísticos .....	30

<b>RESULTADOS</b> .....	30
Cuantificación de contaminantes .....	35
Hidrocarburos .....	35
n-alcanos .....	35
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) .....	36
Plaguicidas .....	37
Metales .....	39
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	41
Evaluación de hidrocarburos en <i>Elysia crispata</i> .....	42
Concentraciones de plaguicidas en <i>Elysia crispata</i> .....	45
Concentraciones de metales en <i>Elysia crispata</i> .....	45
<b>CONCLUSIONES</b> .....	47
<b>LITERATURA CONSULTADA</b> .....	49
<b>ANEXO I</b> .....	56
Curvas de calibrado .....	56
<b>ANEXO II</b> .....	60
Tabla de geoposicionamiento de las muestras .....	60
<b>ANEXO III</b> .....	64
Diagnosis taxonómica de <i>Elysia crispata</i> .....	64
<b>ANEXO IV</b> .....	66
Método utilizado para cromatografía de gases .....	66

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Concentraciones promedio de hidrocarburos de cadena lineal determinados en el molusco <i>Elysia crispata</i> , en las tres localidades muestreadas (mg/g, de peso seco). .....	35
<b>Tabla 2.</b> Análisis estadístico, comparando las concentraciones de hidrocarburos de las tres localidades muestreadas. ....	35
<b>Tabla 3.</b> Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) determinados en el molusco <i>Elysia crispata</i> (mg/kg peso seco). ....	37
<b>Tabla 4.</b> Análisis estadístico, comparando las concentraciones de plaguicidas de las tres localidades muestreadas. ....	38
<b>Tabla 5.</b> Concentraciones promedio de plaguicidas determinados en el molusco <i>Elysia crispata</i> ( $\mu\text{g/g}$ , biomasa seca). ....	38
<b>Tabla 6.</b> Concentración promedio de metales determinados en el molusco <i>Elysia crispata</i> ( $\mu\text{g/g}$ peso seco). ....	40
<b>Tabla 7.</b> Análisis estadístico, comparando las concentraciones de metales de las tres localidades muestreadas. ....	40
<b>Tabla 8.</b> Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) determinados en el molusco <i>Elysia crispata</i> (mg/kg peso seco) y su comparación con los criterios de calidad sedimentaria. ....	43
<b>Tabla 9.</b> ERED intervalos de los efectos de las cargas para especies de interés (mg/kg peso seco). Los datos reflejan las concentraciones en tejidos de compuestos cuya presencia se correlaciona con un efecto adverso en los organismos. ....	44

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Principales ríos que desembocan cerca del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. ....	12
<b>Figura 2.</b> Toponimia y distribución de los arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. ....	21
<b>Figura 3.</b> Vista aérea desde el suroeste del arrecife de Isla Verde (tomado de Secretaría de Marina, Tercera Zona Naval). ....	23
<b>Figura 4.</b> Vista aérea desde el sur del arrecife Isla Sacrificios. ....	24
<b>Figura 5.</b> Vista aérea del Arrecife Hornos. ....	25
<b>Figura 6.</b> Proceso de digestión de las muestras utilizando un digestor marca Gerhardt.....	27



<b>Figura 7.</b> Análisis de las muestras en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian SpectrAA-100. ....	28
<b>Figura 8.</b> Concentración de la muestra con el rotavapor marca Büchi R200.....	29
<b>Figura 9.</b> Gráfica en la que se observa la distribución de la especie <i>Elysia crispata</i> en los diferentes sustratos durante los dos periodos de muestreo en los tres arrecifes. ....	31
<b>Figura 10.</b> Zona de colecta de la especie <i>Elysia crispata</i> en Isla Verde.....	32
<b>Figura 11.</b> Zona de colecta de la especie <i>Elysia crispata</i> en Isla Sacrificios .....	33
<b>Figura 12.</b> Zona de colecta de la especie <i>Elysia crispata</i> en Hornos.....	34
<b>Figura 13.</b> Concentración promedio de hidrocarburos de cadena lineal determinados en el molusco <i>Elysia crispata</i> , en las tres localidades de estudio (mg/g peso seco).....	36
<b>Figura 14.</b> Concentración promedio de plaguicidas determinados en el molusco <i>Elysia crispata</i> ( $\mu\text{g/g}$ peso seco). ....	39
<b>Figura 15.</b> Concentración promedio de metales determinados en el molusco <i>Elysia crispata</i> ( $\mu\text{g/g}$ peso seco) .....	41

## RESUMEN

El incremento de las actividades humanas en la costa que rodea al puerto de Veracruz, ha propiciado un paulatino deterioro de los ecosistemas marinos aledaños. Con el objetivo de aportar nuevos datos que ayuden a evaluar la calidad ambiental del área natural protegida, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, en el presente trabajo, se evaluaron las concentraciones de los metales pesados: cobre, cadmio, zinc, mercurio, plomo y cromo, así como la concentración de hidrocarburos de cadena lineal (C<sub>7</sub> –C<sub>32</sub>), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) como el naftaleno, fluorenteno, pireno, Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Indo(1,2-cd)pireno, Dibenzo(h,a)antraceno, Benzo(ghi)perileno y, la concentración de plaguicidas: aldrín y dieldrín, clordano, DDT, Gamma-HCH (lindano), hexaclorobenceno, heptacloro y epóxido de heptacloro, metoxicloro, 2,4-D en el molusco opistobranquio *Elysia crispata* provenientes de tres poblaciones del PNSAV (arrecife de Isla Verde, Isla Sacrificios y Hornos). La determinación de las concentraciones de metales fue analizada mediante espectrofotometría de absorción atómica; hidrocarburos y plaguicidas por su parte, fueron analizados mediante cromatografía de gases. Se encontró que cada metal tiene un intervalo de concentración distinto, dependiendo del área muestreada y lo mismo fue encontrado para los plaguicidas e hidrocarburos estudiados. Los niveles promedio en µg/g de peso seco de metales en los organismos para el arrecife de Hornos, Isla Sacrificios e Isla Verde respectivamente, son los siguientes: **Cd** 0.08, 0.049 y ND; **Cr** 12.87, 10.63 y 12.87; **Cu** 6.16, 6.75 y 1.33; **Zn** 18.26, 23.45 y 11.37; **Hg** 18.38, 19.28 y 23.7; **Pb** 18.23, 19.28 y 23.7. Respecto a los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los valores promedio de las concentraciones en mg/kg de peso seco evaluados para cada arrecife, Hornos, Isla Sacrificios e Isla Verde respectivamente, son los siguientes: **naftaleno** 1.9, 0.5 y 1.61; **fluorenteno** 1.02, ND y 0.89; **pireno** 0.81, ND y 2.02; **benzo(a)antraceno** 2.70, 1.16 y 1.62; **benzo(b)fluoranteno** 3.09, 2.09 y 19.63; **benzo(k)fluoranteno** 1.51, ND y 7.19; **benzo(a)pireno** ND, 14.34 y 7.04; **Indo(1,2-cd)pireno** 1.53, 1.16 y 1.48; **dibenzo(h,a)antraceno** 4.17, ND y 5.66; **benzo(ghi)perileno** 4.73, ND y 0.76. Finalmente las concentraciones promedio en µg/g de biomasa seca para cada plaguicida en Hornos, Isla Sacrificios e Isla Verde respectivamente, fueron: **aldrín y dieldrín (combinados)** 0.57, 0.57 y 0.71; **DDT** ND, 0.5 y 0.5; **hexaclorobenceno** 0.12, 0.15 y 0.28; **heptacloro y epóxido de heptacloro** 0.5, 0.5 y 0.5. Se concluye que, dada la capacidad de acumulación de contaminantes de reciente presencia y los históricos como los organoclorados, del molusco-opistobranquio *Elysia crispata*, se puede proponer como un organismo bioindicador de contaminación en los arrecifes del PNSAV.

Palabras clave: contaminantes, molusco, sistema arrecifal veracruzano, biomonitor.

## ABSTRACT

The increase of human activities on the coastline around the port of Veracruz, has led to a gradual deterioration of the surrounding marine ecosystem. With the aim of providing new data to help assess the environmental quality of protected natural area, Veracruz Reef System National Park, in the present study, we evaluated the concentrations of heavy metals: copper, cadmium, zinc, mercury, lead and chromium and the concentration of straight chain hydrocarbons (C<sub>7</sub>-C<sub>32</sub>), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH's) such as naphthalene, fluorenteno, pyrene, Benzo(a)anthracene, Benzo(b)fluoranthene, Benzo(k)fluoranthene, Benzo(a)pyrene, Indo(1,2-cd)pyrene Dibenzo(h,a)anthracene, Benzo(ghi)perylene and the concentration of pesticides: aldrin and dieldrin, chlordane, DDT, Gamma-HCH (lindane), hexachlorobenzene, heptachlor and heptachlor epoxide, methoxychlor, 2,4-D in opisthobranch mollusc *Elysia crispata* from three populations PNSAV (reef Green Island, Sacrifices Island and Horn). The determination of metal concentrations was analyzed by atomic absorption spectrometry, hydrocarbons and pesticides for their part, were analyzed by gas chromatography. It was found that each metal has a different concentration range, depending on the area sampled and the same was found for pesticides and hydrocarbons studied. Average levels in µg/g dry weight of metals in reef organisms for Horn, Sacrifices and Green Island respectively, are as follows: **Cd** 0.08, 0.049 y ND; **Cr** 12.87, 10.63 y 12.87; **Cu** 6.16, 6.75 y 1.33; **Zn** 18.26, 23.45 y 11.37; **Hg** 18.38, 19.28 y 23.7; **Pb** 18.23, 19.28 y 23.7. With regard to PAHs, the average values of concentrations in mg/kg dry weight assessed for each reef, Horn, Sacrifices and Green Island respectively, are as follows: **naftaleno** 1.9, 0.5 y 1.61; **fluorenteno** 1.02, ND y 0.89; **pireno** 0.81, ND y 2.02; **benzo(a)antraceno** 2.70, 1.16 y 1.62; **benzo(b)fluoranteno** 3.09, 2.09 y 19.63; **benzo(k)fluoranteno** 1.51, ND y 7.19; **benzo(a)pireno** ND, 14.34 y 7.04; **Indo(1,2-cd)pireno** 1.53, 1.16 y 1.48; **dibenzo(h,a)antraceno** 4.17, ND y 5.66; **benzo(ghi)perileno** 4.73, ND y 0.76. Finally the average concentrations in µg/g of dry biomass for each pesticide in Horn Island, Sacrifices and Green Island respectively, were: **aldrín y dieldrín (combinados)** 0.57, 0.57 y 0.71; **DDT** ND, 0.5 y 0.5; **hexaclorobenceno** 0.12, 0.15 y 0.28; **heptacloro y epóxido de heptacloro** 0.5, 0.5 y 0.5. We conclude that, given the potential for accumulation of pollutants recent and historical presence as organochlorines, the opisthobranch mollusc, *Elysia crispata* can be proposed as a bioindicator organism contamination PNSAV reefs.

**Keywords:** contaminants, mollusc, Veracruz reef system, biomonitor.

## INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Veracruz es uno de los núcleos urbanos, industriales y portuarios más importantes del Golfo de México, con una tasa de crecimiento poblacional alta, en un amplio proceso de urbanización y una continua utilización de los recursos naturales costeros. En las ciudades de Veracruz, Boca del Río y zonas aledañas, se concentran actividades textiles, metalúrgicas, tabacaleras y azucareras, cuyos desechos en conjunto con las aguas residuales urbanas, son vertidos al mar, provocando altos niveles de materia orgánica y la incorporación de diversos contaminantes como: metales pesados, plaguicidas, hidrocarburos, entre otros; los cuales afectan directamente al Área Arrecifal denominada Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) (RAMSAR, 2004).

Dentro del estado de Veracruz, el municipio de Veracruz, es el que genera la mayor cantidad de residuos sólidos (RS) con 515 t/d (toneladas diarias); por otra parte, en lo que se refiere a las aguas no tratadas (ANT) el estado de Veracruz es el que mayor cantidad de m<sup>3</sup> diarios de ANT genera, con un estimado de emisiones de 511,324 m<sup>3</sup>/día (SEMARNAT *et al.*, 2007). Además, al contar con un puerto comercial de alto calado contiguo al PNSAV, se adiciona a la problemática de derrames de hidrocarburos y el azolvamiento de arrecifes por actividades de dragado del puerto, lavado de sentinas, entre otros (RAMSAR, 2004).

### ***Demografía***

Los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado, que se encuentran frente al PNSAV, conforman una zona metropolitana, con un aumento continuo de población, pues en el 2000 presentaron un total de 642,680 habitantes, siendo el municipio de Veracruz el que concentró el 71.16% de habitantes. Posteriormente, para el año 2005, se reportó una población de 703,394 habitantes, siendo nuevamente Veracruz el que concentró el mayor porcentaje de población con más de 73% (UNAM-SEMARNAT, 2007).

El aumento poblacional de esta zona ha representado durante varios años una creciente presión, para cada una de las unidades ambientales costero-terrestres de Veracruz. En la actualidad, la presión se ha incrementado debido a las descargas de aguas residuales de zonas conurbadas, con desarrollos agrícolas e industriales, sumados a los derrames de hidrocarburos por tráfico y movimiento de embarcaciones en el espacio portuario.

## ***Cuencas hidrológicas***

El medio marino recibe a través de las descargas de los grandes sistemas fluviales de los ríos: Jamapa, Atoyac, Papaloapan y La Antigua, una fuerte influencia continental (Figura 1). Al norte, el río La Antigua descarga aproximadamente un volumen de 2,400 millones de m<sup>3</sup> anuales; en la parte central, los ríos Jamapa-Atoyac descargan alrededor de 1,670 millones de m<sup>3</sup> anuales y al sur, el río Papaloapan descarga un promedio de 20,000 millones de m<sup>3</sup> (el contenido del material suspendido varía a lo largo del año, correspondiendo los valores más altos a la época de lluvias) (PEMEX, 1987). Las aguas de estos ríos antes de desembocar al mar, recorren un largo camino en donde van acumulando una serie de desechos que posteriormente llegan al mar.

Los aportes fluviales con que se abastecen los ríos, surgen en las faldas del municipio de Citlaltepetl y descienden hacia la costa, recorriendo una distancia aproximada de 100 km de la llanura o planicie costera veracruzana donde contribuyen al caudal de los ríos Jamapa y Cotaxtla, los que, al unirse, bajo el nombre de río Jamapa, desembocan al Golfo de México en las costas del municipio de Boca del Río. Durante su recorrido el caudal es utilizado para diversos fines incluyendo el agrícola, el ganadero, el industrial y urbano (RAMSAR, 2004).

El río La Antigua nace en las montañas cercanas a la ciudad de Córdoba y Veracruz, sus aguas acrecentan su volumen debido al aporte que llega del río de Los Pescados. El río Blanco, nacido en las cumbres de Acultzingo y el río Papaloapan, nacido en las montañas del estado de Oaxaca, confluyen en el municipio de Alvarado, desembocando como el río Papaloapan, el cual descarga sus aguas en el sistema lagunar de Alvarado. Toda esta red hidrológica durante sus cientos de kilómetros recoge materiales de desecho agrícola, industrial y urbano, que se transforman, acumulan y resuspenden en el caudal (RAMSAR, 2004).

Adicional a lo anterior, las descargas fluviales acarrearán una gran cantidad de contaminantes urbanos, agrícolas e industriales, los cuales son liberados en la cuenca de captación oceánica, lo que aunado a los escurrimientos directos de ciudades y pueblos, da como resultado, que el ambiente marino litoral reciba diversos contaminantes.

## ***Agentes contaminantes***

Entre uno de los principales agentes de contaminación de las zonas costeras se encuentran los metales pesados (Cd, Cu, Cr, Pb, Zn, Mg, Fe y Ni, entre otros) los cuales no son

biodegradables y tienden a acumularse a diferentes niveles en los ecosistemas (Botello *et al.*, 1996).

Se ha calculado que alrededor de 95% de los metales transportados por los ríos son removidos y depositados en las márgenes oceánicas tales como los estuarios, la plataforma y la pendiente continental (Vázquez-Botello *et al.*, 2004).

Diversos estudios efectuados por más de 20 años en las costas del Golfo de México, han demostrado la presencia de elevadas concentraciones de metales tóxicos como el  $Pb^{+2}$ ,  $Cd^{+2}$ ,  $Cr^{+5}$ , y  $Ni^{+2}$ , mostrando que los problemas más severos de la contaminación por metales ocurren en cuerpos de agua semicerrados, particularmente en bahías, estuarios y lagunas costeras (Vázquez-Botello *et al.*, 2004).



Fig.1 Principales ríos que desembocan cerca del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

Las probables fuentes de origen de metales a las aguas del Golfo de México son producto de actividades industriales como las refinerías de petróleo, la producción y la aplicación de fertilizantes, de minería y metalurgia, las actividades de dragado y la perforación de pozos petroleros donde emplean grandes cantidades de lodos de perforación que contienen

metales como cromo y bario. De igual manera, las descargas domésticas sin tratamiento, aportan grandes volúmenes de lodos enriquecidos con diferentes especies de los metales como Pb, Zn, Cd y Cr. Los metales también son introducidos en los ambientes marino y costero por el lavado de suelos; el empleo de fertilizantes y el uso de plaguicidas en zonas agrícolas (Vázquez-Botello *et al.*, 2004).

Dentro de los plaguicidas que se encuentran, son los ácidos clorofenoxialquil carboxílicos, ureas sustituidas, nitrofenoles, triacinas, fenilcarbamato, organoclorados, organofosforados. Algunas de estas sustancias pueden actuar como donadores de electrones o como fuente de carbono para ciertos microorganismos. Los plaguicidas y en particular los organoclorados son muy tóxicos, su persistencia en el ambiente sin ser destruidos puede llegar a ser de años y se biomagnifican, es decir, van aumentando su concentración al ir ascendiendo en la cadena trófica (Botello *et al.*, 1996).

Entre los contaminantes que llegan a las aguas del PNSAV se encuentran los plaguicidas organoclorados o hidrocarburos clorados aromáticos, los cuales constituyen parte de las sustancias químicas más utilizadas dentro de los agroquímicos; según su estructura química hay 4 grupos principales: El DDT y sus metabolitos, y compuestos análogos, como el DDD, dicofol, metoxicloro y clorobencilato; los cicloalcanos clorados: aldrín, dieldrín endrín, endosulfán, mirex, clordano; los Indenos clorados: clordano, heptacloro; los terpenos clorados: conflecor o toxafeno. Estos compuestos han sido empleados a gran escala desde mediados de 1940, utilizándose contra la malaria, parásitos externos de animales y plantas (NOAA, 2001) y se han distribuido por todo el mundo ejerciendo diversos efectos biológicos por su persistencia en el ambiente por largos periodos de tiempo (Cifuentes *et al.*, 1991).

Entre las rutas de entrada de los plaguicidas organoclorados al sistema acuático está el arrastre, infiltración y erosión de los suelos, principalmente de los agrícolas que fueron rociados con plaguicidas, el lavado de dichos suelos hace que estos alcancen los ríos y ecosistemas costeros y marinos; otra ruta es a través de la precipitación proveniente de la atmósfera o por transporte atmosférico. Una vez que los plaguicidas organoclorados están en el ecosistema acuático pueden ser transportados en el agua por advección (movimiento horizontal de los contaminantes disueltos), dependiendo de la velocidad y dirección de las corrientes y su dispersión, la mezcla de estas sustancias en la columna de agua experimentan diversas reacciones físicas, químicas o biológicas que incluyen fotólisis, oxidación, hidrólisis, volatilización, transformaciones biológicas, adsorción y bioacumulación (Calva y Torres, 1998).

Por otra parte, la contaminación por hidrocarburos es otro de los problemas a los que se enfrenta también el sistema arrecifal. La composición química del petróleo varía

ampliamente, ya que contiene diferentes compuestos químicos originados y ensamblados de manera distinta durante su diagénesis o formación geoquímica. Los principales componentes del petróleo son los hidrocarburos (compuestos químicos que contienen únicamente hidrógeno y carbono), los cuales representan del 50-98% en relación a la composición total (Clark y Brown, 1977). También están presentes compuestos como el azufre, nitrógeno y el oxígeno (aunque estos últimos están presentes en cantidades menores, ya sea en su forma elemental o bien como constituyentes heterocíclicos y grupos funcionales). Así mismo se reportan algunos metales traza como vanadio, níquel, hierro, aluminio y cobre cuya concentración varía dependiendo del tipo de petróleo crudo y la región en donde se formó (Botello, 1996). A diferencia de otros contaminantes, el petróleo es de origen natural por lo que organismos como bacterias y hongos están adaptados a su presencia e incluso lo degradan. Tanto moluscos como crustáceos y peces pueden acumular hidrocarburos y sus derivados en los tejidos; los moluscos, en particular, captan los hidrocarburos del petróleo más lentamente que los crustáceos, pero los acumulan en altas concentraciones y los liberan más lentamente (Anderson *et al.*, 1974) causando alteraciones metabólicas en los organismos y repercutiendo en última instancia, en cambios estructurales y funcionales de sus poblaciones en los ecosistemas marinos (Davison *et al.*, 1992). El petróleo puede llegar al mar a partir de diferentes fuentes, siendo una de ellas las operaciones asociadas al transporte por barcos (National Academy of Science, 1985). Una vez que el petróleo ingresa al mar está sujeto a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que en conjunto se denominan intemperismo.

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos se agrupan de acuerdo a su peso molecular, lo cual es una indicación de su origen. Así, tenemos las fracciones de hidrocarburos de bajo peso molecular como las fracciones de dos y tres anillos bencénicos (naftaleno, bifenilo, fenantreno y antraceno, así como sus derivados metilados, principalmente); los hidrocarburos de alto peso molecular son aquellos de cuatro y cinco anillos bencénicos (pireno, los benzo (x) pirenos, benzo (x) antracenos, perileno, etc.). Si la concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos de bajo peso molecular es mayor que la de los de alto peso molecular, se considera que estos compuestos se originaron en el petróleo; mientras que si la situación es opuesta, esto es, si predominan los hidrocarburos de alto peso molecular se considera que se originaron en procesos de combustión incompleta (incendios forestales, chimeneas de fábricas, transporte urbano, tráfico de buques, etc.), asfaltos de pavimentación de calles o provienen de productos de refinación del petróleo (Wade *et al.*, 1994; Noreña-Barroso *et al.*, 1998).



## ***Organismos bioindicadores***

En el contexto de los estudios de monitoreo ambiental, los organismos bioindicadores (o partes de los organismos comunidades de organismos) reflejan la información contenida en relación a la calidad del ambiente (o una parte del ambiente); los biomonitores, por otro lado, son organismos que contienen información en el aspecto cuantitativo de la calidad ambiental (Markert *et al.*, 2003). De esta manera los bioindicadores son organismos o comunidades de organismos en los que sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones, dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse las condiciones ambientales, esto es, reaccionan a los cambios por uno o más sustancias contaminantes; varios autores distinguen entre los bioindicadores sensibles y los bioindicadores acumulativos los cuales son resistentes a ciertos compuestos al ser capaces de absorberlos y acumularlos en cantidades medibles; ambos dan información tanto de los cambios ocurridos como, del nivel de intensidad del cambio ambiental (Capó-Martí, 2007; Markert *et al.*, 1999).

La capacidad de respuesta de los bioindicadores varía, dependiendo de muchos factores como son: la edad, talla, estacionalidad, sexo, hábitos alimenticios, duración o tiempo de exposición, respuestas tóxicas e interacciones con otras especies (incluyendo la flora) (Beeby, 2001).

De acuerdo al criterio de poder cuantificar la respuesta, los bioindicadores pueden ser biomonitores, que son especies que indican la presencia de contaminantes o perturbaciones no sólo de forma cualitativa, sino también de forma cuantitativa, porque sus reacciones son de alguna manera proporcionales al grado de contaminación o perturbación (Capó-Martí, 2007). Idealmente, las especies elegidas como bioindicadores deben cumplir muchos criterios: deben ser sedentarios, fáciles de identificar y coleccionar, abundantes durante todo el año por toda la costa de seguimiento, de larga duración, resistentes a las variaciones ambientales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, tolerante a altos niveles de contaminantes, pero acumuladores netos de los contaminantes en cuestión y ser el indicador de un importante grupo funcional o nivel trófico del ecosistema marino; una especie candidata ideal debería mostrar una correlación simple entre los contaminantes presentes en los tejidos y el promedio de concentración de contaminantes ambientales (Thebault, 2007).

De acuerdo con Beeby, A. (2001), algunas de las características ideales que deben presentar los organismos utilizados como especies centinela son: fácil identificación, la capacidad de bioacumular el contaminante de acuerdo a su cantidad lipídica, proveer suficiente tejido para realizar los análisis, ser suficientemente longevos (permitiendo la integración de contaminantes durante largos periodos), ser sedentarios o de baja movilidad,

también debe considerarse el hecho de que estos organismos se encuentren en poblaciones suficientemente abundantes en el área a evaluar para no alterar o perjudicar a la población.

## ANTECEDENTES

El Puerto de Veracruz, la ciudad, la zona conurbada y áreas adyacentes presentan un intenso tráfico marino, actividades energéticas, petroleras, pesqueras, recreativas, de dragado y perforación de piso oceánico, en la zona costera y marina adyacente; lo que ha dado como resultado un alto crecimiento poblacional y un desarrollo turístico; ambos generalmente mal planeados y con repercusiones adversas sobre el ambiente costero y marino el cual incluye los arrecifes de coral del área.

Los 23 arrecifes que se encuentran dentro de PNSAV, han sufrido los efectos de las descargas urbanas e industriales y el vertimiento masivo de toda clase de desechos de las principales ciudades veracruzanas como: Mendoza, Río Blanco, Nogales, Orizaba, Córdoba, Jalapa, Veracruz, Alvarado, etc (Rosales, *et. al.*, 1986) a lo largo de varios años.

Las frecuentes cantidades de desechos que se vierten en las aguas costeras de la zona de estudio y sus repercusiones ambientales, han propiciado diversas investigaciones sobre los grupos de contaminantes y sus fuentes. Dentro de los trabajos realizados se encuentra el de Echaniz-Hernández (1988), quien realizó la determinación de los niveles de hidrocarburos en agua, sedimentos y hojas del pasto marino *Thalassia testudinum* (Köning, 1805) en tres arrecifes (Isla Sacrificios, Isla Verde e Isla de Enmedio), observando la presencia de altas concentraciones de n-alcenos (C14 – C30); alta concentración de n-alcenos ligeros (C14 – C18), presencia de fitano en proporciones similares a las del pristano y compuestos metilados del naftaleno. Por su parte, Sánchez-Pérez, (1994), efectuó un estudio de determinación de metales pesados: cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) en 45 colonias del coral pétreo *Madracis decactis* del arrecife de Isla Verde, encontrándose que del total de metales evaluados, sólo hierro y manganeso registraron concentraciones bajas (peso seco), en base a los estudios encontrados en la revisión bibliográfica, no así y en orden descendente, el plomo (87.6µg/g), hierro (61.9µg/g), níquel (38.2µg/g), cobre (28.9µg/g) y cromo (20.2µg/g); así mismo, menciona que las colonias del talud oeste registraron la mayor concentración de seis de los nueve metales evaluados (Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Pb). Tovar-Juárez, *et al.*, (2000), evaluaron la concentración de metales pesados en glándula digestiva y músculo del molusco *Aplysia dactilomela* en los arrecifes La Gallega e Isla Verde, donde los metales que presentaron mayor concentración (peso seco) en músculo fueron el Cu (143µg/g en La

Gallega y 109 $\mu\text{g/g}$  en Isla Verde) y el Al (1066 $\mu\text{g/g}$  en La Gallega y 1527 $\mu\text{g/g}$  en Isla Verde) en la glándula digestiva; los metales que se presentaron en mayor concentración en todas las muestras fueron: el Al, Ni, y el Cu en el músculo, el metal que presentó menor concentración fue el cadmio. Acosta-González, *et al.*, (2000) determinaron los niveles de diferentes metales pesados en el erizo de mar *Echinometra lucunter* en dos arrecifes, La Gallega cercana al área de descarga de aguas residuales de la ciudad y el de Isla Verde alejado de la costa, encontrando las siguientes concentraciones (peso seco) para cada uno de los metales evaluados: Al 37.8 $\mu\text{g/g}$ ; Cd 9.3 $\mu\text{g/g}$ ; Cr 13.3 $\mu\text{g/g}$ ; Cu 12.0 $\mu\text{g/g}$ ; Ni 53.5 $\mu\text{g/g}$ ; Pb 194.9 $\mu\text{g/g}$  y Zn 33.2 $\mu\text{g/g}$ . Noriega-Escobar, (2001), hizo un análisis para evaluar la contaminación por metales pesados (Al, Cu, Cd, Ni, Pb y Zn) por espectrofotometría de absorción atómica en el pasto marino *Thalassia testudinum* de seis arrecifes (Chopas, Isla Verde, La Gallega, Hornos, Punta Gorda y Punta Mocambo), las concentraciones promedio más altas fueron: Zn 41.9 $\mu\text{g/g}$ , Al 50.6 $\mu\text{g/g}$ , Cu 2.8 $\mu\text{g/g}$ , Pb 8.7 $\mu\text{g/g}$  y el metal en menor concentración fue Cd 1.3 $\mu\text{g/g}$ . Acosta-González, (2002), efectuó una comparación de la concentración de metales pesados (Al, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) en sustrato coralino, algas (*Dyctiota guineensis*) y en el erizo *Echinometra lacunter*, entre Isla Verde y la Gallega, en sustrato coralino, algas (*Dyctiota guineensis*) y en el erizo *Echinometra lacunter*, encontrando mayores concentraciones de Ni 0.0443 $\mu\text{g/g}$  (en sustrato coralino), Al 9080.3 $\mu\text{g/g}$  (en algas), Al 9107.9 $\mu\text{g/g}$  (en tracto digestivo del erizo), las menores concentraciones fueron obtenidos para el Cd y Cr, concluye que el esqueleto de erizo es un buen indicador de metales pesados, en especial para el plomo. Morlán-Cahue, (2003), determinó la concentración de algunos metales pesados (Fe, Mn, Pb y Zn) en macroalgas clorofitas en los arrecifes Anegada de Adentro, Blanquilla, Gallega, Galleguilla, Hornos, Pájaros, Sacrificios y Verde, sus resultados indican que el plomo fue el único metal para el que no se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de los diferentes arrecifes, Isla Verde presentó en mayor concentración el Fe y Mn en las especies de algas y en los arrecifes de las islas Sacrificios, Verde y Pájaros, se localizaron las concentraciones más altas de Zn. Medina-González, *et al.*, (2004), determinaron la concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos y en tres especies de pepino de mar *Holothuria floridana* de las costas del Estado de Yucatán, México, siendo el Pb el metal que presentó mayor concentración en sedimentos (19.373 mg/kg) y el Cd en *Holothuria floridana* con 2.731 mg/kg de peso seco; Rivera-Ramírez, (2006) realizó la determinación de metales traza (Cu, Ni, Pb, V y Fe) en agua de mar y en las especies de corales *Diploria strigosa* y *Copophyllia natans* en el Arrecife de Isla Sacrificios. López-de Buen, (2009) realizó la caracterización de contaminación por plaguicidas organoclorados en el sistema arrecifal veracruzano, a través del erizo negro (*Echinometra lucunter*), estableciendo seis estaciones de muestreo, cuatro en la Isla de Enmedio y dos en la Isla de Sacrificios, los plaguicidas organoclorados que se presentaron en todas las muestras fueron:  $\alpha$ -HCH, Endrín, aldehídos y 4,4'-DDE y los plaguicidas que se presentaron en por lo menos cuatro de los sitios muestreados, fueron HCB, Lindano, Endrín y el 4,4'-DDD.

Con respecto a estudios realizados con la especie *Elysia crispata* como biomonitor de contaminación, no se ha localizado ningún trabajo; pero sí se han realizado diversos trabajos con otros moluscos como centinelas de contaminación. Baqueiro-Cárdenas *et al.*, (2007) analizaron los mecanismos de respuestas que tienen los individuos o poblaciones de moluscos, al impacto de la contaminación, así como sus mecanismos etológicos y fisiológicos de adaptación o sobrevivencia. Dado lo anterior, se proponen a los moluscos (como se ha propuesto a los bivalvos) como indicadores de contaminación ya sea por su capacidad de acumular contaminantes o por los procesos de bioacumulación a lo largo del ciclo de vida del organismo o por biomagnificación a través de las cadenas tróficas o de los cambios fisiológicos producidos por la contaminación.

## **JUSTIFICACIÓN**

Algunos de los arrecifes que comprenden el Área Natural Protegida PNSAV, resultan vulnerables a la influencia ocasionada por el paso de buques que arriban y salen del Puerto de Veracruz, así como por las descargas que estos barcos efectúan en el tiempo de su estancia. El transporte de efluentes petroquímicos, agroquímicos y fertilizantes, entre otros, genera cierta posibilidad de derrames, las descargas industriales y de aguas crudas municipales, acarrear contaminantes urbanos, agrícolas e industriales. Es necesario el estudio con organismos biomonitores y/o centinelas que ayuden a determinar la calidad ambiental en puntos estratégicos de la zona costera y marina de Veracruz.

En el presente trabajo se tomó al molusco *Elysia crispata* como un posible organismo que pudiera cumplir con los requisitos de bioacumulador de sustancias tóxicas, permitiendo su determinación en laboratorio, para servir como futura especie biomonitora, ya que cumple con ciertas condicionantes, como el tener una amplia distribución y abundancia, abarcando aparentemente todos los arrecifes que comprenden el PNSAV, como lo menciona (Zamora-Silva, 2003) en su trabajo sobre opistobranquios bénticos de la Isla La Gallega, Veracruz, México, así como ser de fácil captura y recolecta, el organismo se encuentra en poblaciones suficientemente abundantes por lo que su colecta en pequeñas cantidades no perjudica a la población, es un organismo de baja movilidad y provee suficiente tejido para los análisis correspondientes; por lo que se considera viable para ser utilizada como posible organismo “biomonitor” de contaminación. Para esto se evaluó su capacidad de acumular niveles detectables de contaminantes.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

- Determinar si el molusco *Elysia crispata* puede servir como posible bioindicador de contaminación a través de su análisis espacio-temporal.

### Objetivos particulares

- Determinar y cuantificar los niveles presentes de metales pesados, hidrocarburos y plaguicidas acumulados en tejido de *Elysia crispata*.
- Con base en las concentraciones de contaminantes encontradas en la especie *Elysia crispata*, en los arrecifes de Hornos y los de las Isla Verde y Sacrificios poder determinar si el organismo puede considerarse un organismo bioindicador para el monitoreo de la salud de los arrecifes veracruzanos.

## HIPÓTESIS

Si en el molusco *Elysia crispata* se detecta la presencia de contaminantes (metales pesados, plaguicidas e hidrocarburos) y la concentración de éstos se encuentra por arriba de lo reportado para agua y sedimentos y las poblaciones de los tres arrecifes estudiados presentan diferencias en lo acumulado en relación a la distancia de las fuentes de contaminación principales, entonces, el molusco pudiera ser propuesto como un posible organismo bioindicador para cuantificar la disponibilidad de ciertos contaminantes en el ambiente y por lo tanto convertirse en un organismo biomonitor de la salud del sistema arrecifal.

## ÁREA DE ESTUDIO

### **Sistema Arrecifal Veracruzano**

El área natural protegida denominada como Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano fue decretada así por el gobierno federal el 24 de agosto de 1992 (DOF, 1992) y posteriormente, como un humedal prioritario a nivel internacional o sitio Ramsar con el número 1346, que permite efectuar acciones tanto nacionales como de cooperación internacional en pro de la conservación y para el uso racional de sus recursos (RAMSAR, 2004).

El polígono que delimita al PNSAV, se encuentra situado entre las coordenadas geográficas 19°02'16.8'' y 19°15'32.4'' N; 95°46'55.2'' y 96°11'45.6'' W, en la porción central del Estado de Veracruz, el cual colinda al norte con Tamaulipas y el Golfo de México, al este con el Golfo de México, Tabasco y Chiapas, al sur con Chiapas y Oaxaca y al oeste con Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí. A nivel local, el PNSAV está ubicado frente a los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado, cuya región se encuentra colindando al norte con el municipio de la Antigua y el Golfo de México, al este con el Golfo de México, al sur con los municipios de Medellín y Manlio Fabio Altamirano y al oeste con los municipios de Manlio Fabio Altamirano, Paso de Ovejas y La Antigua.

La extensión del PNSAV es de 52, 238 ha y está conformado por 23 arrecifes, los cuales se encuentran divididos en dos grupos separados por la desembocadura del río Jamapa: hacia el sur se encuentra un grupo situado frente al poblado de Antón Lizardo y hacia el norte se encuentra el otro grupo situado frente a las ciudades Veracruz y Boca del Río (Figura 2).

Los arrecifes de la parte norte que se localizan frente al Puerto de Veracruz, se encuentran ubicados por arriba de la isobata de los 40 m y están constituidos en general por arrecifes de menor extensión, de los cuales, se estudiaron en el presente trabajo los siguientes: Isla Verde, Isla Sacrificios y Hornos.

El otro grupo de arrecifes ubicados frente a Punta Antón Lizardo a unos 20 km al suroeste del Puerto de Veracruz, se encuentran ubicados por arriba de la isobata de los 50 m.

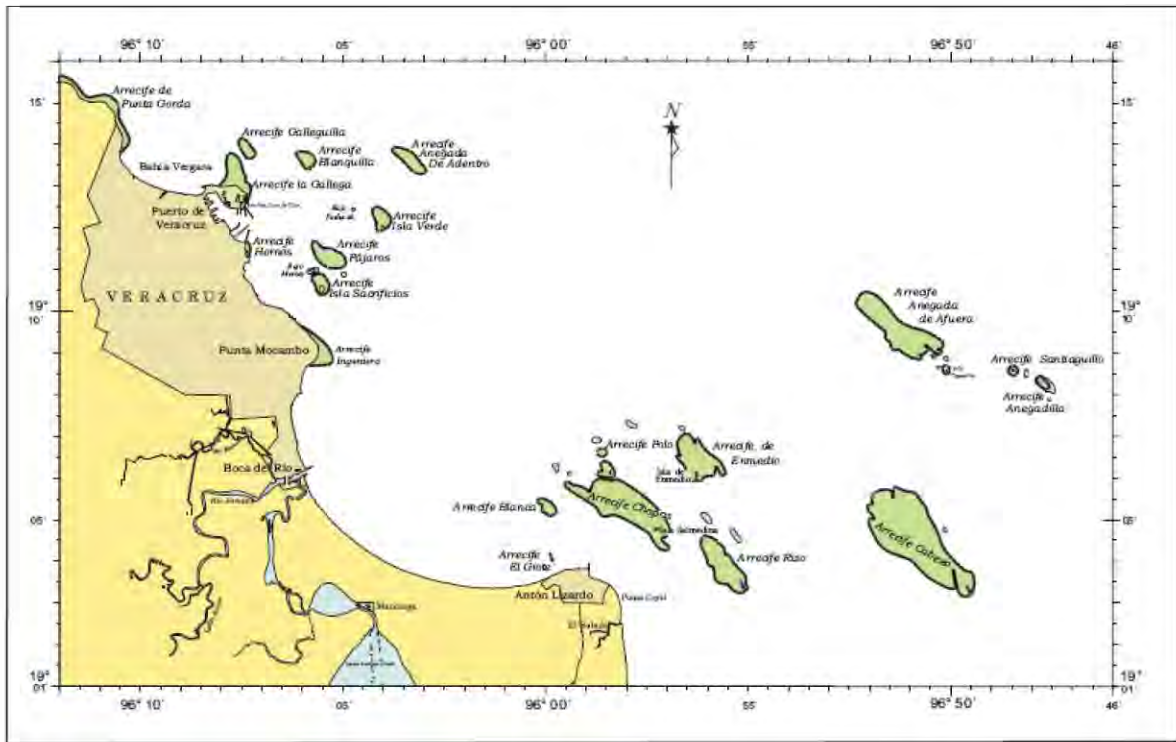


Fig. 2.- Toponimia y distribución de los arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

Las aguas que rodean los arrecifes son: aguas oceánicas, costeras y de mezcla, las primeras pasan hacia el norte formando corrientes predominantes con velocidades medias de 0.4 a 0.5 nudos y temperaturas variables entre 28.5 y 28.7°C; las segundas presentan temperaturas entre 29° y 29.4°C y las últimas entre 28.7 y 29°C. La salinidad media anual es de 34.5‰, con una máxima de 39.3‰ y una mínima de 18.2‰ (Secretaría de Marina, 2000).

El clima es cálido-húmedo con lluvias en dos épocas bien marcadas: la de nortes, de menor precipitación, que se presenta de septiembre a abril, con temperatura baja y frecuentes invasiones de masas de aire frío del norte: éstas, por su fuerza, pueden ser desde vientos frescos hasta violentos y huracanados. La época de lluvias se presenta de mayo a agosto, con temperaturas elevadas, alta precipitación y vientos débiles del este. La temperatura promedio anual en la zona arrecifal es de 26°C, las temperaturas más bajas se registran en enero y febrero y oscilan alrededor de 18°C.

En la región de Veracruz los frentes fríos en invierno, llamados “nortes”, son más importantes para los arrecifes que los huracanes, pues afectan la temperatura del agua (INE, 2007).

### ***Descripción de los Arrecifes Muestreados***

#### **Isla Verde**

Se localiza a 5.63 Km del puerto de Veracruz en los 19° 11' 55" N y 96° 04' 04" W. tomando como referencia la baliza del arrecife, tiene una longitud de 1, 110 m y alrededor de 700 m de anchura máxima, presenta una porción emergida o cayo en el sur del arrecife con alrededor de 300 m de largo y 170 m en su parte más ancha (Hernández-Aguilera *et al.*, 2010), lo que le confiere una forma alargada, con dos pequeñas bahías opuestas que la estrecha en la parte media; una localizada al noreste y la otra al suroeste, al final de la cual se encuentra la baliza (Figura 3) (Lot-Helgueras, 1971). El sustrato de la isla está constituido por arena blanca con abundancia de trozos de coral y conchas, elevándose desde 0.80 msnm hasta cerca de los 6 msnm.

La barrera coralina que encierra a la laguna central se interrumpe en la porción este en forma muy aparente, constituyendo una boca de casi 50 m frente a la laguna, se localiza una fosa de 10 m de profundidad. La posición de esta entrada tiene importancia en la distribución de las comunidades del arrecife, ya que se establece una corriente de la zona oceánica hacia la laguna por medio de canales en dirección noreste-suroeste, determinando la ausencia de pastos marinos en dichos canales que forman los “parches” o “manchas” de ceibadales (Lot-Helgueras, 1971). La zona de barlovento presenta un sustrato constituido principalmente por “roca” de esqueletos coralinos, mientras que en la porción de sotavento, está conformado por una combinación rocoso-arenoso (González-Solís, 1985).





Fig. 3. Vista aérea desde el suroeste del arrecife de Isla Verde (tomado de Secretaría de Marina, Tercera Zona Naval).

### **Isla Sacrificios**

Es un arrecife de tipo plataforma que se localiza a los  $19^{\circ} 10' 26''$  N y  $96^{\circ} 05' 32''$  W con 750 m de longitud y 450 m de ancho en su parte central (Figura 4). Se localiza a 2.4 km de la playa turística de Costa Verde. Su emersión sobre las aguas se ha calculado en 3,000 años y se debe a una formación arrecifal de origen madreporico que se encuentra todavía en pleno desarrollo (Gutiérrez de Velazco y Prieto, 1985). Topográficamente el complejo Isla de Sacrificios se extiende hacia el Noroeste en el Bajo Mersey. La parte emergida tiene una superficie de 4.65 ha y presenta una forma alargada elipsoidal, orientada norte-sur, con una longitud máxima de 368 m y 192 m en su parte más ancha (INAH, 1976 cit. en Vargas-Hernández *et al.*, 1993); su altura máxima registrada es de 4 m (Dussolier y Fernández cit. en Medellín, 1955).

La isla presenta un faro montado sobre una torre con altura de 42 m. El sustrato está formado por restos de organismos calcáreos y la vegetación presente corresponde a la vegetación de dunas costeras (Miranda y Hernández, 1963). Existe además un bajo cerca del área arrecifal denominado “Terranova” que se ubica hacia la parte noroeste del arrecife, geográficamente a los  $19^{\circ} 11' 00''$  N y  $96^{\circ} 05' 50''$  W, formado con la deposición de arenas arrastradas por las mareas y los vientos.



Fig. 4. Vista aérea desde el sur del arrecife Isla Sacrificios.

## Hornos

Este arrecife bordeante, localizado a los  $19^{\circ} 11' 29''$  N y  $96^{\circ} 07' 19''$  W (Figura 5), ha sido aprovechado por el hombre desde hace muchos años, como fuente directa de materiales para la construcción de casas, monumentos y protección del puerto, por ejemplo, la construcción del rompeolas y parte del malecón. El arrecife Hornos corre a lo largo de la línea costera, a partir del rompeolas sur que protege y limita la entrada al puerto, siendo el arrecife de la Gallega, el equivalente del lado Norte sobre el otro rompeolas. La longitud de Hornos no está bien definida por ser discontinua, pero constituye una ancha franja de 500 m entre la zona del rompeolas sur y punta Hornos (Lot-Helgueras, 1971). El continuo dragado ejercido para mantener un canal central por donde transitan los botes de los pescadores a los muelles, ocasiona que la laguna alcance hasta 5 m de profundidad y se encuentre muy alterada ecológicamente. Hornos ha sufrido el impacto directo del hombre por su accesibilidad; está constituido básicamente por una barrera de corales ya muertos en su mayoría, que ha sido grandemente perforadas por anélidos y pelecípodos, así como grupos de erizos, en su porción interna (Lot- Helgueras, 1971). Sin embargo, aún presenta cierta riqueza faunística que todavía no ha sido inventariada en su totalidad (Vargas-Hernández, *et al.*, 1993).



Fig. 5. Vista aérea del Arrecife Hornos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Colecta de la muestra en campo

El muestreo se llevó a cabo en dos periodos, el primero del 26 al 28 de octubre de 2007 y el segundo, del 27 al 29 de julio de 2008; en los arrecifes de Isla Verde, Isla Sacrificios y Hornos. La elección de estos arrecifes fue debido a que los dos primeros se encuentran entre el canal de acceso de los buques al puerto y el tercero, muy cerca de la entrada al puerto, así como la presencia en los tres arrecifes de la especie sujeta a este estudio, *Elysia crispata*.

Las colectas fueron realizadas en las lagunas de los arrecifes, muy cerca de la cresta arrecifal a una profundidad entre 1 a 2 m. En cada uno de los arrecifes se llevó a cabo una recolecta de especímenes en forma manual, por medio de buceo libre, colectando una cantidad de material suficiente para obtener de 20 a 30 gr en peso seco de la especie. Los individuos se colocaron por separado en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas con los datos del sitio, en donde fue la colecta y la fecha de colecta.

Todos los encuentros de especímenes de *Elysia crispata* independientemente si se colectaron ejemplares o no, fueron geoposicionados con un GPS etre, marca Garmin, con el propósito de determinar la distribución de la especie en las lagunas de los arrecifes.

Posteriormente a su captura, las muestras se conservaron congelados para evitar la descomposición del tejido y así poder transportarlas al laboratorio, para su posterior análisis.

## **Tratamiento de las muestras en laboratorio (Metales)**

### **Digestión**

En el laboratorio se descongeló el material previamente congelado que se mantuvo a una temperatura de  $-70^{\circ}\text{C}$ . Las muestras fueron secadas en una estufa a una temperatura constante de  $75^{\circ}\text{C}$  durante 12 horas, con el fin de alcanzar sequedad total. El biomaterial se pesó en una balanza analítica con precisión de 0.0001 gr.

Posteriormente, se llevó a cabo la digestión (se utilizó a todo el organismo para realizar la digestión) en un digestor marca Gerhardt (figura 6), donde se colocaron las muestras en cada uno de los tubos del digestor. Se tomaron 10 gr de muestra de Isla Verde, 26 gr de muestra de Isla Sacrificios, repartida en dos tubos con 13 gr c/u y de Hornos se tomaron 36 gr repartidos en tres tubos con 12 gr c/u (estas cantidades varían debido a la disponibilidad del biomaterial colectado). Una vez colocada la muestra en cada uno de los tubos se agregó  $\text{HNO}_3$  analítico para degradar el tejido del organismo y para eliminar cualquier residuo orgánico y material contaminante.

Se agregaron 20 ml de  $\text{HNO}_3$  1N a cada uno de los tubos que contenían las muestras; a uno de los tubos se le agregó 1.354g de  $\text{HgCl}_2$  en 50 ml de  $\text{HNO}_3$  y se añadió agua destilada hasta alcanzar una concentración final de 1mg/L de disolución (este es el estándar que se utiliza para el método de vapor frío para la determinación de Hg), al otro tubo se le colocó  $\text{H}_2\text{O} + 60$  ml de  $\text{HNO}_3$ . Éste último tubo sirvió como blanco, mientras que el tubo que contenía  $\text{HgCl}_2$  sirvió como metal de referencia para la validación del método.

La digestión con  $\text{HNO}_3$  se llevó a cabo a  $80^{\circ}\text{C}$  durante media hora y posteriormente se elevó la temperatura a  $150^{\circ}\text{C}$  por  $1\frac{1}{2}$  hr más. Una vez que terminó la digestión con  $\text{HNO}_3$  se dejaron enfriar las muestras. Se adicionaron a cada tubo 5 ml de  $\text{HClO}_4$  1N y se mantuvieron a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  durante una hora más; esto se hizo para terminar de degradar cualquier tejido que no haya sido degradado por el  $\text{HNO}_3$ .

Al término de las digestiones, todas las muestras fueron filtradas con una membrana de policarbonato, adicionando 50 ml de agua desionizada tipo 1 y se volvió al digestor a  $180$ - $200^{\circ}\text{C}$  hasta que se concentró la muestra en menos de 10 ml. Se aforó en matraces

volumétricos de 100 ml para su análisis con el equipo de absorción atómica. Finalmente se colocaron en frascos de polipropileno y se sellaron hasta su posterior análisis.



Fig. 6.- Proceso de digestión de las muestras utilizando un digestor marca Gerhardt.

## **Análisis**

Las muestras fueron analizadas por el método de flama en un espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian SpectrAA-100 (figura 7). En todos los casos se utilizaron lámparas de cátodo hueco, específicas para la determinación de cada metal evaluado (Pb, Cu, Zn, Cd, Cr). El Hg se analizó por generación de vapor frío, el equipo mencionado tiene implementado este método, lleva lámpara de IR y celdas de cuarzo. Se corrieron blancos de reactivos para realizar las correcciones necesarias. Para cada uno de los metales se realizó una curva de calibración, usando soluciones estándar a partir de una solución patrón de 1000 ppm de cada metal; posteriormente se realizaron lecturas de absorbancia. Los resultados se reportan en  $\mu\text{g/g}$  de peso seco de la muestra.



Fig. 7.- Análisis de las muestras en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian SpectraAA-100.

### **Determinación de plaguicidas en los organismos**

El método de extracción y purificación de los plaguicidas organoclorados a partir del tejido del molusco, se realizó en base al método descrito por Schenck *et al.*, 1996.

Se tomó de 5 a 20 gr del biomaterial seco restante y se sometieron las muestras a la extracción mediante extracción Soxhlet en hexano/CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (60:40) (n-hexano con grado cromatográfico HPLC para Soxhlet y el CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> utilizado, con grado analítico). Las muestras obtenidas se concentraron en condiciones de presión reducida con el rotavapor marca Büchi R200 (figura 8) para análisis cromatográfico.

Se utilizó un cromatógrafo de gases HP 6890 SERIES II dotado de FID/ECD y un FINNIGAN-POLARIS CG-MS. Para Cromatografía de gases fue utilizado el método 8081A modificado de la EPA (ver Anexo IV).



Fig.8.- Concentración de la muestra con el rotavapor marca Büchi R200.

### **Tratamiento de las muestras Hidrocarburos**

Para la extracción de hidrocarburos se utilizó el método EPA 3540a y 3550c. Se sometió a sonicación las muestras, en un baño de ultrasonido a 100Mhz. La muestra se colocó en una solución compuesta de 40% éter de petróleo y 60% hexano, con la finalidad de extraer los hidrocarburos; se sometieron las muestras a dos ciclos de 10 min c/u. Posteriormente se filtraron las muestras.

La cuantificación de los hidrocarburos lineales y aromáticos se llevó a cabo en un cromatógrafo de gases (Hewlett-Packard MODELO 6890) equipado con columna capilar de sílice fundida de 30 m X 0.25 mm D.I X 0.25 mm de grosor de capa de fenil metil silicona 5% con detector FID (Programa de temperatura 40-300°C a 6 °C min<sup>-1</sup>). Para este análisis se utilizó nitrógeno como gas acarreador (Flujo 1 mL •min<sup>-1</sup>) en vez de helio. Para los hidrocarburos lineales saturados, se empleó una mezcla de estándares de Chemical Service, U.S.A., con una concentración 100 µg •mL<sup>-1</sup> (19 compuestos). El límite de detección para los compuestos individuales fue de 0.01 µg g<sup>-1</sup> de peso seco.

Previo a su inyección en CG-FID las muestras fueron filtradas en un cartucho de sílica gel de 2.5 cm y diluidas con 10 ml de hexano, 10 ml de hexano/diclorometano (7:3 v/v) y 10 ml de diclorometano puro. Estas fracciones colectadas por separado se dejaron evaporar un

poco y finalmente las inyecciones se hicieron diluyendo muestras con hexano/diclorometano (7:3 V/V)

### **Análisis estadísticos**

Los análisis estadísticos que se llevaron a cabo para determinar si existían diferencias significativas en las concentraciones de los contaminantes estudiados en el molusco *Elysia crispata* entre los diferentes arrecifes, fue una ANOVA de una vía mediante el programa SigmaStat 3.5 utilizando un criterio de toma de decisión ( $P < 0.05$ ). Para pruebas posteriores de comparación se realizó la Prueba Student-Newman-Keuls.

## **RESULTADOS**

El encuentro al azar con especímenes de *Elysia crispata* y su geoposicionamiento en las lagunas de los tres arrecifes muestreados, permitió reconocer los sustratos a los que se encuentran asociados los organismos de la especie *Elysia crispata*, los cuales fueron ubicados en seis grupos: arena, fragmento de coral, coral, alga, *Thalassia testudinum* y roca; que para efectos de este trabajo, se entiende por:

**Arena.** Partículas minerales y de sedimento de carbonato de calcio formadas principalmente por la erosión de coral muerto y algas calcáreas; forman áreas desnudas que no permiten el establecimiento de comunidades bentónicas, son zonas de alta sedimentación (Tello-Mussi, 2000).

**Fragmentos de coral.** Pedazos de coral muerto.

**Coral.** Colonias de coral vivo.

**Alga.** Organismos autótrofos, acuáticas, que realizan fotosíntesis. No fueron identificadas a nivel de especie.

***Thalassia testudinum.*** Monocotiledónea marina (pasto marino) que forma grandes praderas en sustratos arenosos de zonas someras de las costas tropicales y templadas (Tello-Mussi, 2000).

**Roca.** Agregado natural de partículas minerales unidas por fuerzas cohesivas permanentes (De la Lanza et al; 1999).



El sustrato dominante en el que se encontraron asociados los organismos de la especie *Elysia crispata*, fue el de arena con el 36.95%, seguido del pasto marino *Thalassia testudinum* con el 19.56%, coral vivo con el 14.13%, alga con el 11.95%, fragmento de coral con el 10.86% y con una menor preferencia se encontró al sustrato rocoso con tan sólo el 6.52% (figura 9).

Bibliográficamente se tiene conocimiento que esta especie muestra mayor preferencia por la fanerógama *Thalassia testudinum* y por el coral muerto. Haciendo referencia a la gráfica anterior, los datos de los muestreos arrojan que la especie mostró mayor preferencia por la arena, esto puede deberse a que en una de las épocas en las que se colectó la especie era época de nortes, un día anterior había pasado un norte, por lo que a los organismos se les encontró desplazándose sobre la arena.

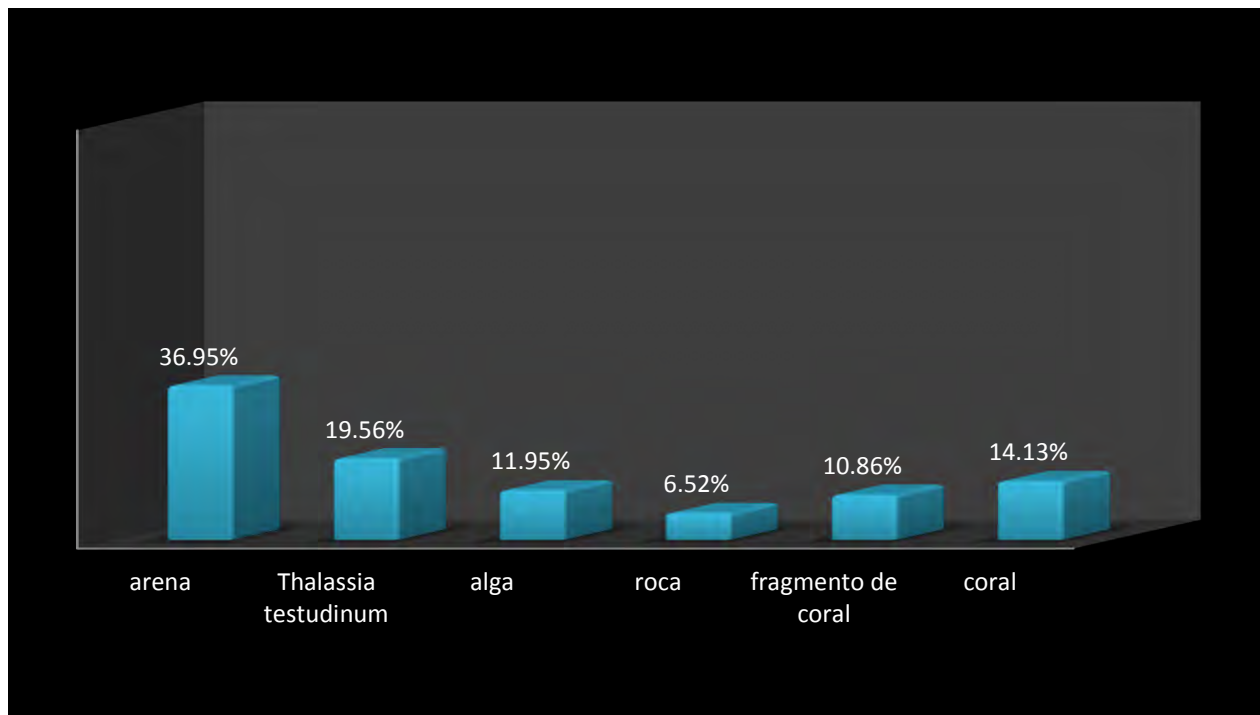


Fig. 9. Gráfica en la que se observa la distribución de la especie *Elysia crispata* en los diferentes sustratos durante los dos periodos de muestreo en los tres arrecifes.

Por otra parte, durante el muestreo fueron geoposicionados los organismos colectados (ver anexo II). Con los datos obtenidos se pudo ubicar la distribución espacial de la especie *Elysia crispata* dentro de cada laguna arrecifal de las tres zonas muestreadas. En los mapas se puede apreciar las zonas de colecta del molusco durante los dos periodos de muestreo (figura 10,11 y 12). Es probable que la especie se desarrolle en función al sustrato y se distribuya en relación a la cobertura del hábitat aprovechado sobre la planicie arrecifal.

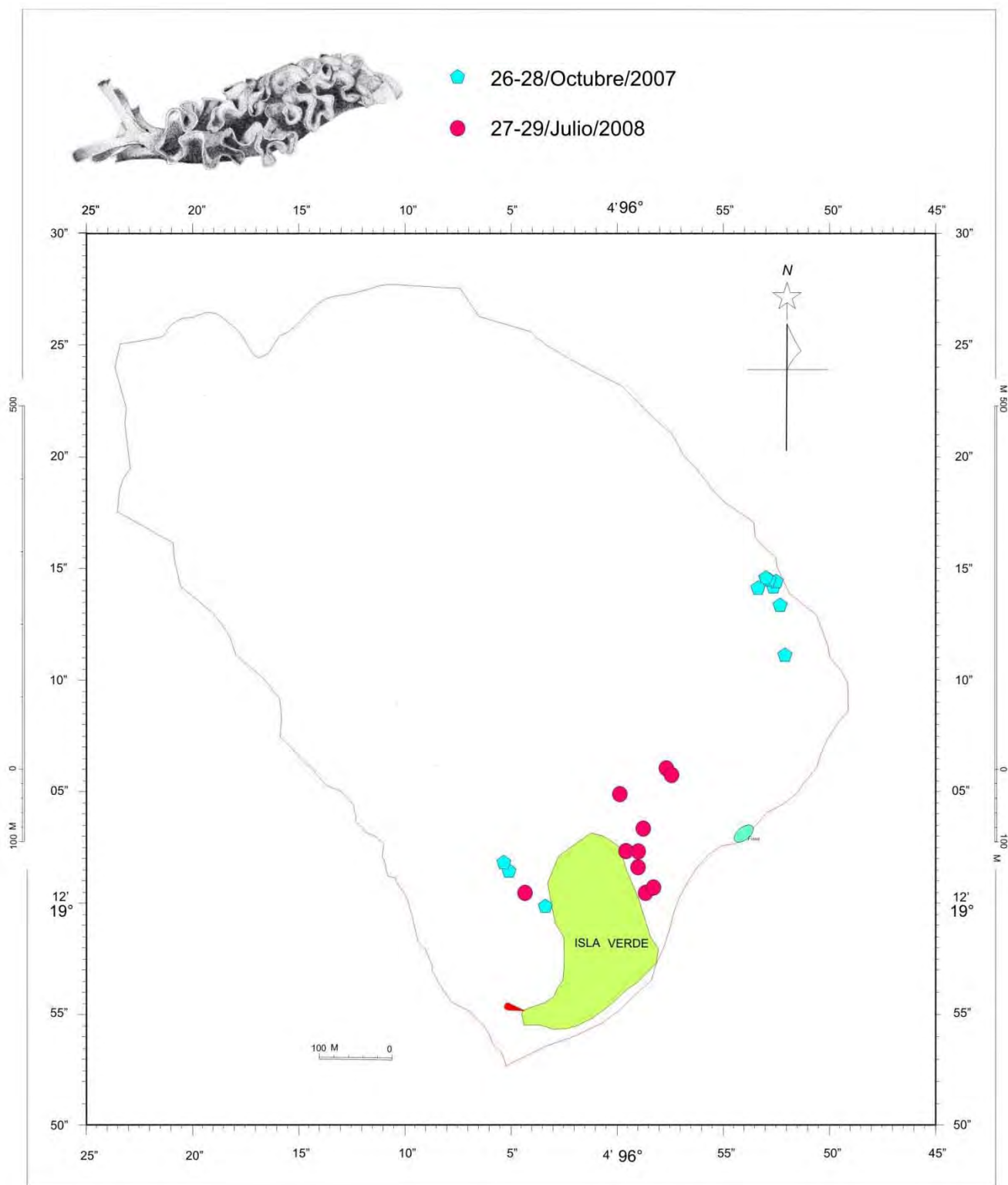
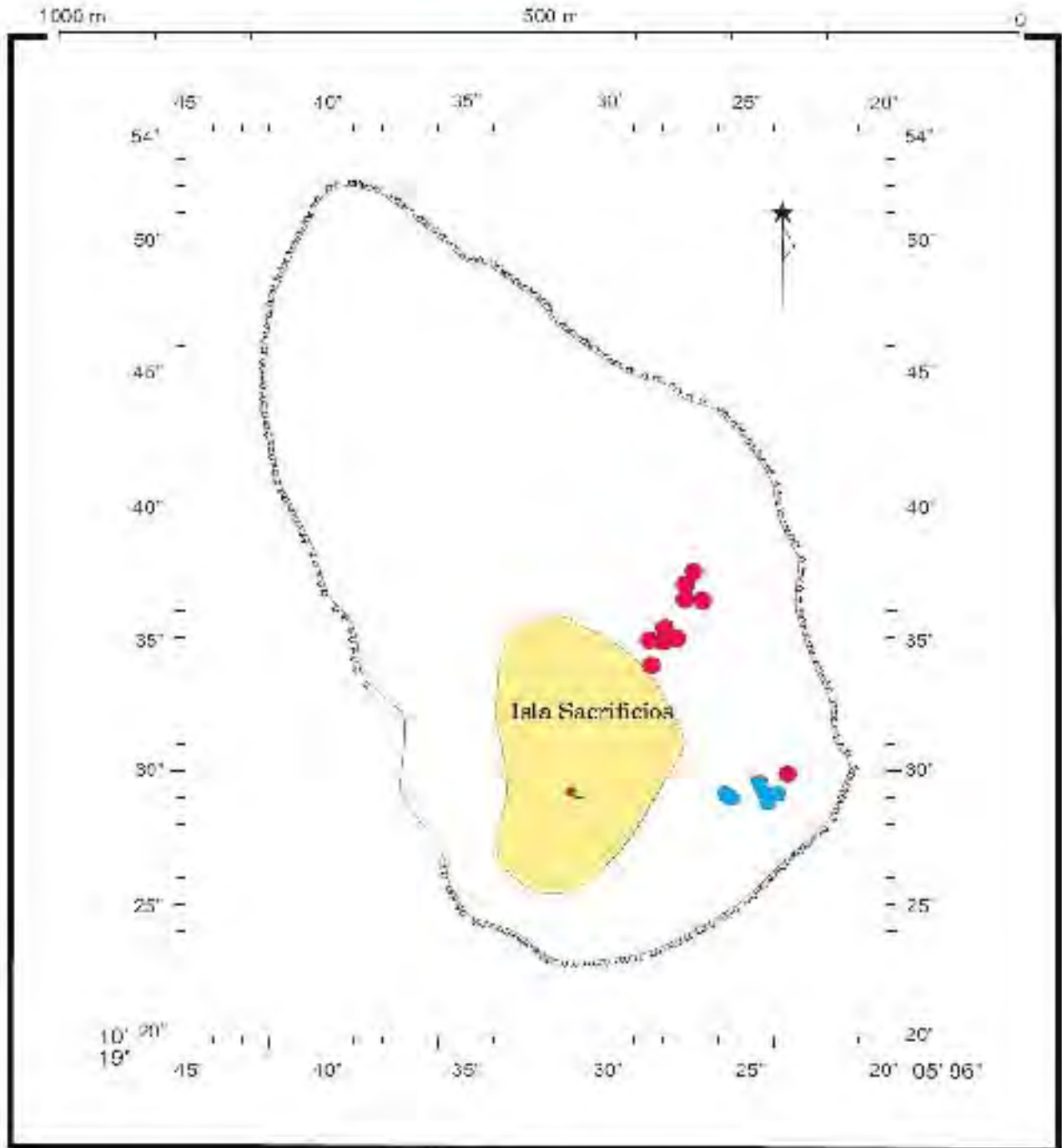


Fig. 10. Zona de colecta de la especie *Elysia crispata* en Isla Verde.



- 26-28/Octubre/2007
- 27-29/Julio/2008



ESCALA 1:7.000

Fig. 11. Zona de colecta de la especie *Elysia crispata* en Isla Sacrificios.

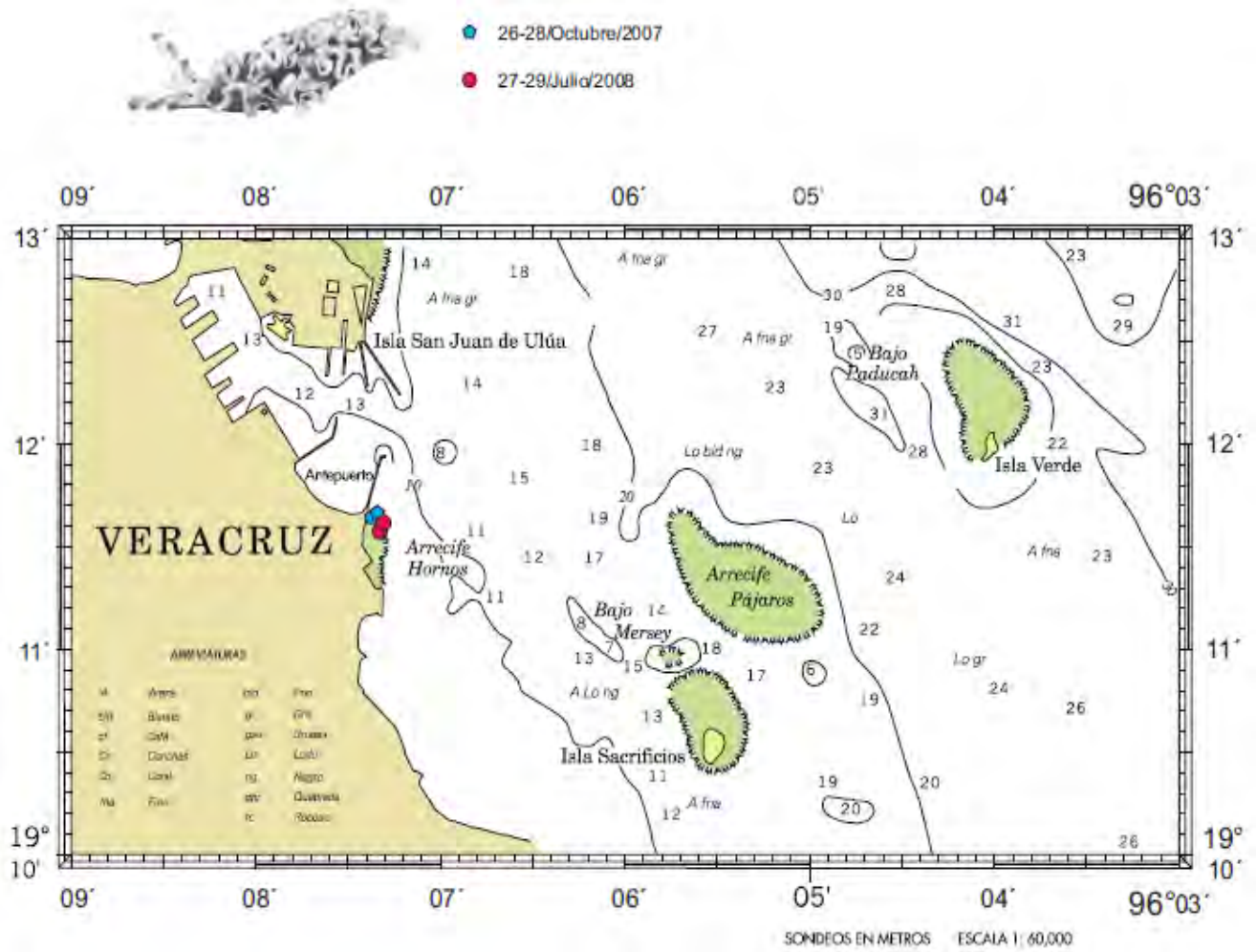


Fig. 12. Zona de colecta de la especie *Elysia crispata* en Hornos.

## Cuantificación de contaminantes

### *Hidrocarburos*

#### *n-alcános*

En la Tabla 1 se presentan las concentraciones promedio de hidrocarburos lineales (n-alcános) expresadas en mg/kg peso seco, obtenidas en *Elysia crispata* para las poblaciones de cada arrecife muestreado. El Arrecife Hornos presenta en general una mayor concentración de hidrocarburos n-alcános, seguido por el Arrecife de Isla Sacrificios y en mucha menor concentración el Arrecife de Isla Verde.

Tabla 1. Concentraciones promedio de hidrocarburos de cadena lineal determinados en el molusco *Elysia crispata*, en las tres localidades muestreadas (mg/g peso seco).

Localidad	n-C7 – n-C10	n-C12 – n-C15	n-C16 – n-C19	n-C22 – n-C25	n-C26 – n-C32
Hornos	21.42	17.22	4.63	33.12	20.06
Isla Sacrificios	21.46	11.16	2.75	22.91	22.47
Isla Verde	9.51	8.85	1.45	1.77	5.68

La comparación entre las concentraciones promedio de hidrocarburos en función del número de carbonos de acuerdo al análisis estadístico, encontró diferencias significativas entre dos de los tres arrecifes (ANOVA de una vía,  $F_{2/8} = 7.33$ ;  $P < 0.05$ ) (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis estadístico, comparando las concentraciones de hidrocarburos de las tres localidades muestreadas.

Comparación entre Localidades	P
Hornos vs. Verde	*
Hornos vs. Sacrificios	NS
Sacrificios vs. Verde	*

\*  $P < 0.05$  NS= No existe diferencia significativa

Se encontró que la concentración de hidrocarburos presentes en Isla Verde fue significativamente menor que en Isla Hornos e Isla Sacrificios (Prueba Student-Newman-Keuls,  $x = 5.4 \text{ mg/g}$  vs  $19.29 \text{ mg/g}$  y  $16.15 \text{ mg/g}$ ; respectivamente;  $P < 0.05$ ).

En la figura 13 puede observarse las concentraciones promedio de hidrocarburos de cadena lineal encontrados en *Elysia crispata* para cada localidad muestreada, de manera general, Hornos muestra mayor concentración de hidrocarburos n-alcános.

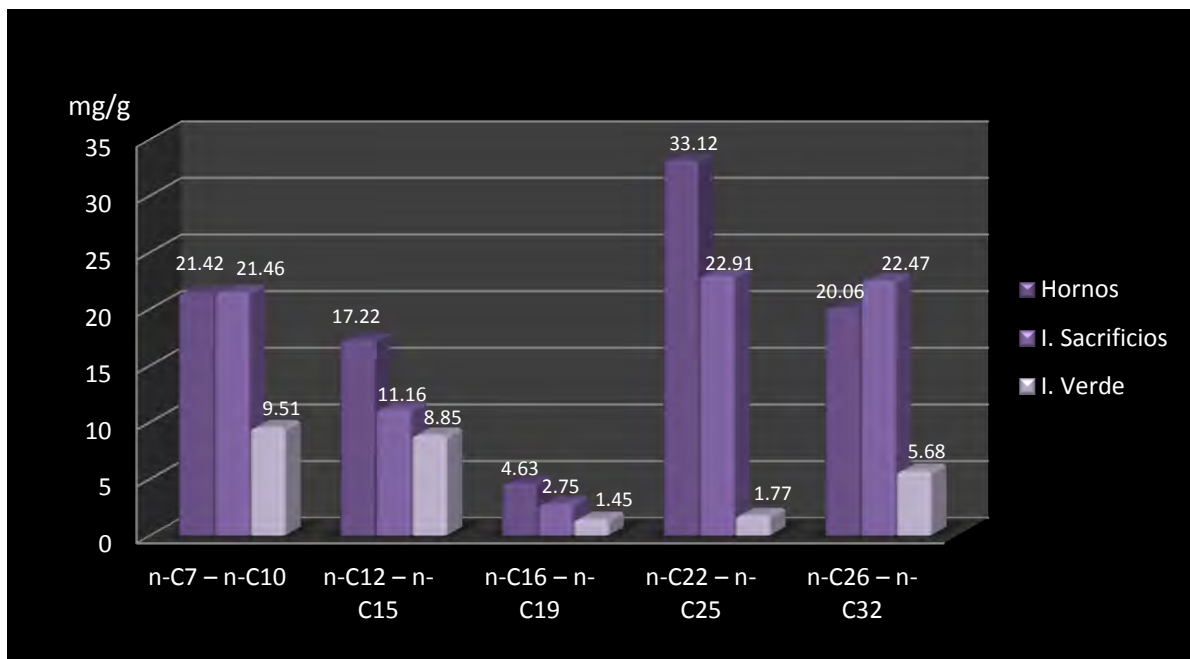


Fig. 13. Concentración promedio de hidrocarburos de cadena lineal determinados en el molusco *Elysia crispata*, en las tres localidades de estudio (mg/g peso seco).

### ***Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's)***

De los 16 compuestos de HAP's analizados, de acuerdo al método utilizado, sólo cinco (acenaftileno, fluoreno, fenantreno, antraceno y criceno) no fueron detectados. Los otros 11 estuvieron presentes en al menos un arrecife. El benzo(b)fluoranteno fue el que presentó la mayor concentración con  $19.63 \text{ mg/kg}$  en el Arrecife de Isla Verde, seguido por el benzo(a)pireno en la Isla Sacrificios ( $14.34 \text{ mg/kg}$ ) y  $7.04 \text{ mg/kg}$  en Isla Verde. El naftaleno estuvo presente en los tres arrecifes, así como el benzo(a)antraceno, el benzo(b)fluoranteno y el Indo(1,2-cd)pireno (Tabla 3). De los 11 compuestos contaminantes determinados, todos están presentes en el Arrecife de Isla Verde, nueve en el Arrecife de Hornos y sólo cinco en el de Isla Sacrificios.

Tabla 3. Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) determinados en el molusco *Elysia crispata* (mg/kg peso seco).

Compuestos	Hornos	Isla Sacrificios	Isla Verde
Naftaleno	1.9	0.5	1.61
Acenaftileno	ND	ND	ND
Acenafteno	ND	ND	2.1
Fluoreno	ND	ND	ND
Fenantreno	ND	ND	ND
Antraceno	ND	ND	ND
Fluorenteno	1.02	ND	0.89
Pireno	0.81	ND	2.02
Benzo(a)antraceno	2.70	1.16	1.62
Criceno	ND	ND	ND
Benzo(b)fluoranteno	3.09	2.09	19.63
Benzo(k)fluoranteno	1.51	ND	7.19
Benzo(a)pireno	ND	14.34	7.04
Indo(1,2-cd)pireno	1.53	1.16	1.48
Dibenzo(h,a)antraceno	4.17	ND	5.66
Benzo(ghi)perileno	4.73	ND	0.76

N.D = No Detectado

### ***Plaguicidas***

El incremento del aporte de numerosos plaguicidas en los ecosistemas acuáticos, producto de su amplia utilización en prácticas agrícolas e industriales, es preocupante debido a la alta toxicidad que ejercen sobre la biota acuática, a la elevada bioacumulación y a su persistencia en el medio (Vázquez-Botello *et al.*, 1996). De los ocho compuestos determinados, cuatro de ellos: Aldrín-dildrín combinados, DDT, Hexaclorobenceno y Heptacloro-epóxido de heptacloro fueron detectados en el tejido de los organismos de la especie *Elysia crispata* para las poblaciones de los arrecifes de Isla Sacrificios e Isla Verde y en el Arrecife de Hornos exceptuando al DDT (Tabla 5). Las mayores concentraciones de Aldrín-dildrín (0.71 µg/gr) y Hexaclorobenceno (0.28 µg/gr), se ubicaron en la población del Arrecife de Isla Verde.

Se realizó una comparación de las concentraciones de los plaguicidas entre los arrecifes. El análisis estadístico encontró diferencias significativas en la concentración de plaguicidas entre los tres arrecifes estudiados (ANOVA de una vía,  $F_{2/24} = 27.70$ ;  $P < 0.05$ ) (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis estadístico, comparando las concentraciones de plaguicidas de las tres localidades muestreadas.

<b>Comparación entre Localidades</b>	<b>P</b>
<b>Verde vs. Hornos</b>	*
<b>Verde vs. Sacrificios</b>	*
<b>Sacrificios vs. Hornos</b>	*

\* P<0.05

La concentración de plaguicidas presentes resultó significativamente diferente (Prueba Student-Newman-Keuls,  $x = 0.24 \mu\text{g/gr}$  para Isla Verde vs  $0.15 \mu\text{g/gr}$  Hornos y  $0.21 \mu\text{g/gr}$  Isla Sacrificios;  $P < 0.05$  error est mmc de medias por mínimos cuadrados).

Tabla 5. Concentración promedio de plaguicidas determinados en el molusco *Elysia crispata* ( $\mu\text{g/g}$  peso seco).

<b>Plaguicidas en <math>\mu\text{g/gr}</math></b>	<b>Hornos</b>	<b>Isla Sacrificios</b>	<b>Isla Verde</b>
<b>Aldrín y dieldrín (combinados)</b>	0.57	0.57	0.71
<b>Clordano (total de isómeros)</b>	ND	ND	ND
<b>DDT (total de isómeros)</b>	ND	0.5	0.5
<b>Gamma-HCH (lindano)</b>	ND	ND	ND
<b>Hexaclorobenceno</b>	0.12	0.15	0.28
<b>Heptacloro y epóxido de heptacloro</b>	0.5	0.5	0.5
<b>Metoxicloro</b>	ND	ND	ND
<b>2,4 - D</b>	ND	ND	ND

N.D = No Detectado.



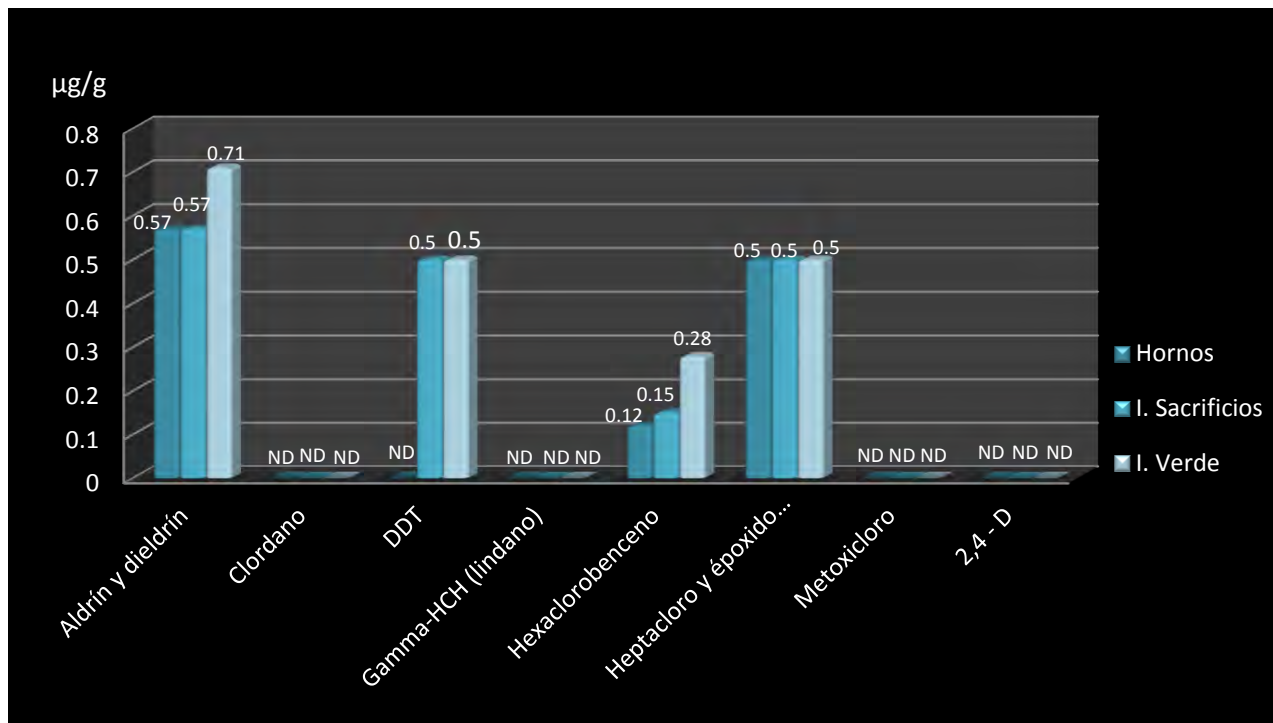


Fig. 14. Concentración promedio de plaguicidas determinados en el molusco *Elysia crispata* ( $\mu\text{g/g}$ , peso seco).

### Metales

Los seis metales analizados en el tejido del molusco *Elysia crispata* (Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) fueron detectados tanto en el Arrecife de Isla Sacrificios como en el Arrecife de Hornos, en el caso del Arrecife de Isla Verde, no fueron detectados el Cd ni el Hg (Tabla 6). El Mercurio en Isla de Sacrificios, presentó concentraciones muy elevadas ( $136.65 \mu\text{g/g}$  de peso seco), seguido del Zinc ( $23.45 \mu\text{g/g}$ ). Los valores más bajos fueron para el Cadmio ( $0.08$  y  $0.49 \mu\text{g/g}$ ) en Hornos e Isla Sacrificios, respectivamente, así como el Cobre ( $1.33 \mu\text{g/g}$ ) en Isla Verde.

Tabla 6. Concentración promedio de metales determinados en el molusco *Elysia crispata* ( $\mu\text{g/g}$  peso seco)

Metales	Hornos	Isla Sacrificios	Isla Verde
<b>Cromo (<math>\text{Cr}^{+6}</math>)</b>	12.87	10.63	12.87
<b>Cadmio (<math>\text{Cd}^{+2}</math>)</b>	0.08	0.49	ND
<b>Cobre (<math>\text{Cu}^{+2}</math>)</b>	6.16	6.75	1.33
<b>Mercurio (<math>\text{Hg}^{+2}</math>)</b>	18.38	136.65	ND
<b>Plomo (<math>\text{Pb}^{+2}</math>)</b>	18.23	19.28	23.70
<b>Zinc (<math>\text{Zn}^{+2}</math>)</b>	18.26	23.45	11.37

N.D. No detectado por medio de este método.

La comparación entre los arrecifes por promedio de concentración de metales en los organismos de la especie *Elysia crispata*, indica diferencias significativas para los arrecifes de las islas Verde y Sacrificios y para Sacrificios-Hornos, no así para Hornos e Isla Verde (ANOVA bifactorial,  $F_{2/18} = 20.66$ ;  $P < 0.05$ ) (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis estadístico, comparando las concentraciones de metales de las tres localidades muestreadas.

Comparación entre Localidades	P
<b>Sacrificios vs. Verde</b>	*
<b>Sacrificios vs. Hornos</b>	*
<b>Hornos vs. Verde</b>	NS

\*  $P < 0.05$  NS= No existe diferencia significativa

La prueba Student-Newman-Keuls para comparar las concentraciones de metales en los organismos de los tres arrecifes, encontró que la concentración de metales presentes en Isla Sacrificios fue significativamente mayor que en Hornos e Isla Verde ( $x = 28.9 \mu\text{g/g}$  vs.  $8.8 \mu\text{g/g}$  y  $5.3 \mu\text{g/g}$  respectivamente  $P < 0.05$ ) (figura 11).

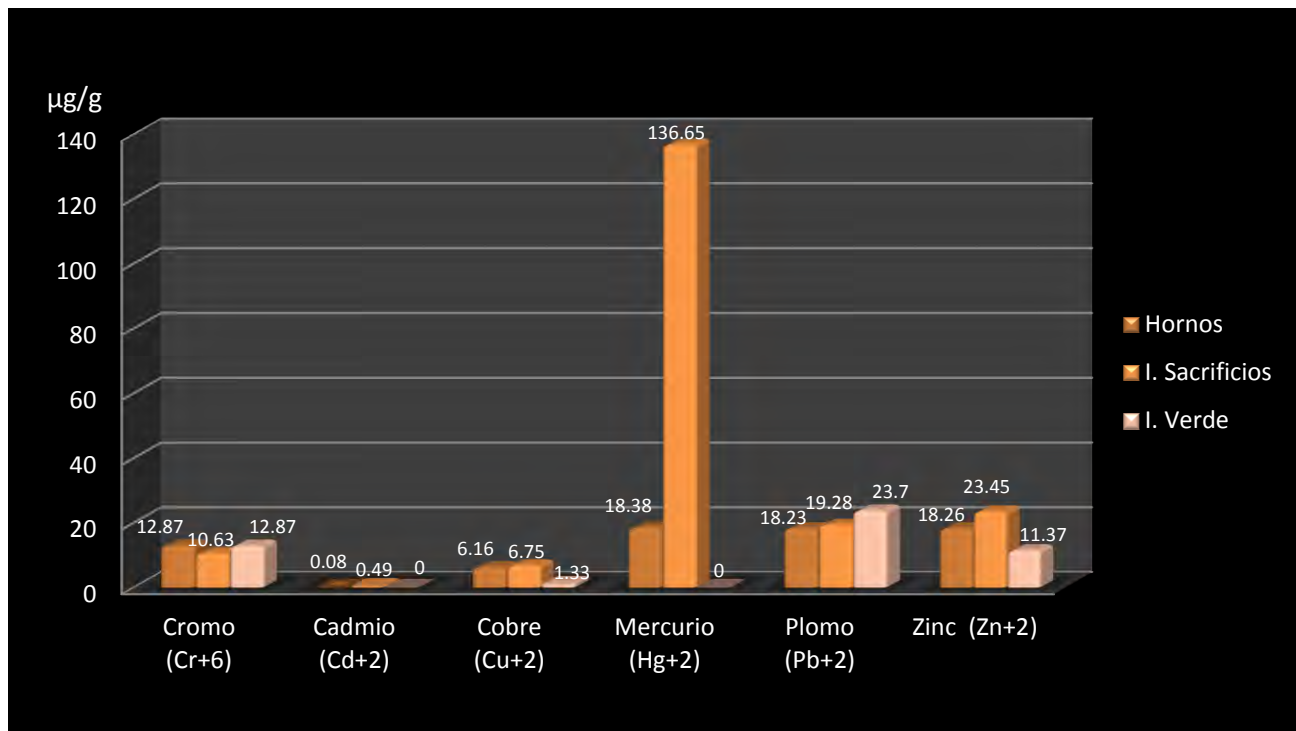


Fig.15. Concentración promedio de metales determinados en el molusco *Elysia crispata* ( $\mu\text{g/g}$  peso seco).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Distribución de *Elysia crispata* por sustrato.

Las especies pueden mostrar o no una cierta preferencia y relación con un sustrato específico, ya que lo aprovechan como refugio, protección, fuente de alimento, sustrato para fijación de larvas y mimetismo. *Elysia crispata* es una especie común de aguas someras, se le encuentra frecuentemente sobre rocas cubiertas por algas, en *Thalassia testudinum* y coral muerto; sus hábitos alimenticios son la herbivoría. En este estudio, el molusco opistobranquio *Elysia crispata* se encontró en varios sustratos: arena, pasto marino (*Thalassia testudinum*), alga, roca, fragmento de coral y coral; siendo el sustrato de su preferencia en el área de estudio y en las épocas de colecta, la arena, seguida de la fanerógama *Thalassia testudinum*, mostrando menor preferencia por el sustrato rocoso.

El haber encontrado mayor número de organismos sobre la arena durante el muestreo, pudo deberse a que los muestreos coincidieron con la época de nortes, con la presencia de un evento de moderado a fuerte, la especie es desplazada de su lugar de fijación por el fuerte oleaje, motivo por el cual la encontramos desplazándose sobre la arena; adicionalmente, en la temporada de nortes también fue común encontrarla en la cresta o barrera arrecifal, el cual sirve como defensa contra los fuertes vientos y el oleaje.

Es importante mencionar, que no se efectuaron observaciones en las tres temporadas (nortes, lluvias y secas), por lo que no se puede determinar con exactitud cuál es el sustrato al que *Elysia crispata* muestra mayor preferencia; sin embargo, trabajos anteriores muestran que el coral muerto es el sustrato más adecuado para el desarrollo del Sacogloso (Zamora-Silva, 2003).

#### **Evaluación de hidrocarburos en *Elysia crispata*.**

El entendimiento previo del comportamiento y biología de los organismos que sirvan de modelo para la evaluación del impacto de los contaminantes es completamente necesario, por esta razón es que los estudios realizados en moluscos, especialmente en bivalvos y gasterópodos han sido considerados como poderosos modelos en la toxicología y evaluación ambiental, debido a que son organismos cosmopolitas, ecológica y comercialmente importantes, sedentarios o de bajo desplazamiento y muy importante, bioacumuladores y biomagnificadores de metales y compuestos orgánicos (Rittschof and McClellan-Green, 2005).

Las concentraciones de hidrocarburos totales encontradas en los organismos van de menor a mayor I. Sacrificios < Hornos << I. Verde (Tabla 8), teniendo las mayores concentraciones de hidrocarburos de alto peso molecular, los cuales provienen de la combustión del petróleo, madera y carbón que se encuentran en los organismos de I. Verde >> Hornos > I. Sacrificios, siendo los principales benzo(b)fluoranteno, benzo(a)pireno, benzo(k)fluoranteno, dibenzo(h,a)antraceno y benzo(g,h,i)perileno. Los tres sitios superan los criterios de calidad sedimentaria (MacDonald *et al.*, 1996) muy por arriba del nivel probable de efectos. Siendo que estos hidrocarburos tienen su origen por la combustión de derivados del petróleo, provenientes de las embarcaciones principalmente, cabe esperar que el aporte se mantenga constante, el cual se ve reflejado en la acumulación corporal del organismo en estudio.

Tabla 8. Concentración de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) determinados en el molusco *Elysia crispata* (mg/kg, peso seco) y su comparación con los criterios de calidad sedimentaria.

Compuestos	Hornos	Isla Sacrificios	Isla Verde	TEL	PEL
<b>Naftaleno</b>	1.9	0.5	1.61	0.03	0.39
<b>Acenaftileno</b>	ND	ND	ND	0.01	0.13
<b>Acenafteno</b>	ND	ND	2.1	0.01	0.09
<b>Fluoreno</b>	ND	ND	ND	0.02	0.14
<b>Fenantreno</b>	ND	ND	ND	0.09	0.54
<b>Antraceno</b>	ND	ND	ND	0.05	0.24
<b>Fluorenteno</b>	1.02	ND	0.89	0.11	1.49
<b>Pireno</b>	0.81	ND	2.02	0.15	1.4
<b>Benzo(a)antraceno</b>	2.70	1.16	1.62	0.07	0.69
<b>Criceno</b>	ND	ND	ND	0.11	0.85
<b>Benzo(b)fluoranteno</b>	3.09	2.09	19.63	0.07	0.71
<b>Benzo(k)fluoranteno</b>	1.51	ND	7.19	0.06	0.61
<b>Benzo(a)pireno</b>	ND	14.34	7.04	0.09	0.76
<b>Indo(1,2-cd)pireno</b>	1.53	1.16	1.48	ND	ND
<b>Dibenzo(h,a)antraceno</b>	4.17	ND	5.66	ND	ND
<b>Benzo(ghi)perileno</b>	4.73	ND	0.76	ND	ND
<b>total</b>	21.46	19.25	50	0.87	8.04

N.D = No Detectado TEL: Threshold effects level, nivel umbral de efectos; PEL: Probable effects level, niveles probables de efectos (MacDonald et al., 1996)

Con el propósito de tener un marco de referencia comparativo, que indique si la concentración de los contaminantes detectados pueden tener un efecto letal al organismo en estudio, se compara con dos especies de bivalvos, el ostión (*Crassostrea virginica*) y el mejillón (*Mytilus edulis*), por ser los organismos con mayores estudios toxicológicos y ecotoxicológicos, además de ser los organismos más cercanamente emparentados, esto debido a que no hay estudios en este aspecto con este grupo de organismos, encontrándose solamente estudios ecológicos y fisiológicos. Se obtuvieron del Environmental Residue Effects Database, ERED (Brandt, *et al.*, 2009). Estas especies son comunes en el Golfo de México y son de importancia ecológica y comercial. Podemos decir que los niveles acumulados en el molusco *Elysia crispata* presenta niveles subletales comparándolo con el mejillón, por lo que se puede decir con toda seguridad que los niveles acumulados representan un riesgo al organismo.

Tabla 9. ERED intervalos de los efectos de las cargas para especies de interés (mg/kg peso seco). Los datos reflejan las concentraciones en tejidos de compuestos cuya presencia se correlaciona con un efecto adverso en los organismos.

Contaminante	Bivalvos		Camarón
	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Crassostrea virginica</i>	<i>Palaemonetes pugio</i>
<b>Naftaleno</b>	31.3 (EC <sub>50</sub> )	-	-
<b>Acenafteno</b>	29.4 (EC <sub>50</sub> )	-	-
<b>Fenantreno</b>	30.7 (EC <sub>50</sub> )	-	-
<b>Fluoranteno</b>	0.112 a 627	62 (LOEC)	-
<b>Pireno</b>	189 (EC <sub>50</sub> )	-	-
<b>Benzo(a)pireno</b>	0.161 a 3.2	-	-
<b>Tolueno</b>	15.6 (EC <sub>50</sub> )	-	-
<b>Cadmio</b>	3.74 a 30	18.2 a 60	0.09 a 7.0
<b>Cobre</b>	12 a 80	-	-
<b>Mercurio</b>	-	-	1.64 (LOEC)
<b>Zinc</b>	71.4 a 130	-	-
<b>Plomo</b>	-	2.28 a 2.6	-

LOEC= Concentración más baja de efectos observables.

Debido a que las Normas Oficiales Mexicanas no manejan estos índices de calidad y no contemplan todos los hidrocarburos aromáticos, se tomó en cuenta para fines de este trabajo los estándares disponibles de otros países como son Australia, Nueva Zelanda, América del Norte y del Sur, Europa y Asia, en organismos marinos (Brandt, *et al.*, 2009), enfocándose al grupo más similar al organismo en cuestión, para así poder establecer si las concentraciones de contaminantes encontradas en el tejido biológico de la especie estudiada representan un estatus de salud de los arrecifes del PNSAV.

Las concentraciones encontradas en *Elysia crispata* para la población de Isla Verde, fueron en general mayores a los otros dos arrecifes, lo cual es reflejo de su posición frente al puerto de Veracruz.

Por otra parte, la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) en organismos marinos se le atribuye principalmente a derrames petroleros, a la biosíntesis, el transporte atmosférico, las descargas municipales e industriales, combustiones incompletas del petróleo, así como las descargas terrestres, todas ellas presentes en la zona conurbada del área natural protegida (Neff, 1979).

Se tiene conocimiento que varios de los HAP's han demostrado una actividad carcinogénica y mutagénica (Myers et al., 1998), por lo que, resulta preocupante las concentraciones encontradas en *Elysia crispata*; aunque no se puede determinar el grado de toxicidad, debido a que se necesitarían hacer otro tipo de estudios. También resulta

importante mencionar, que se ha reportado en la literatura que los compuestos con 4 o más anillos aromáticos son los responsables de problemas de toxicidad severa en diversos organismos (González, 1990), siendo el caso del benzo (a) antraceno, por ejemplo.

La presencia de estos hidrocarburos en el espécimen *Elysia crispata*, puede deberse al transporte marítimo y las actividades portuarias, ya que los arrecifes de Isla Verde e Isla Sacrificios se encuentran entre el canal de acceso de los buques al puerto y Hornos se encuentra muy cerca de la entrada al mismo.

### **Concentraciones de plaguicidas en *Elysia crispata*.**

Al igual a lo sucedido con hidrocarburos, la mayor concentración de plaguicidas se encuentra en Isla Verde > Isla Sacrificios > Hornos, siendo el aldrín y dieldrín combinados, los que presentaron la mayor proporción. El dieldrín, fue prohibido en México desde 1991 (Catálogo Oficial de Plaguicidas, 2004) y junto con el aldrín fueron intensamente utilizados como insecticidas hace tiempo y posteriormente para combatir a las termitas, pero actualmente no está permitido su uso; esto permite suponer por un lado que estos compuestos se siguen aplicando ilícitamente en las actividades agrícolas, lo que explicaría la presencia de sus residuos en las concentraciones aquí descritas en los diferentes arrecifes estudiados, sin embargo, por el otro lado, varios autores señalan que la presencia de plaguicidas organoclorados en los organismos se debe a la resuspensión de los sedimentos profundos que contienen estos compuestos absorbidos en la materia orgánica permaneciendo así por muchos años.

El hexaclorobenceno, fue el compuesto que se encontró en menor concentración a diferencia de los otros plaguicidas por lo que es probable que su uso esté más controlado.

Wan *et al.*, 1989 informan que el DDT con una vida media de 10 años (Calva y Torres, 1998). , HCH y heptacloro se usan con frecuencia en tierras donde se cultiva forraje para ganado lechero, caña de azúcar, frutales y producción de hortalizas y tiene una vida media de 4 años (Calva y Torres, 1998). Esto podría explicar los altos valores de DDT, heptacloro y epóxido de heptacloro encontrados, ya que las zonas aledañas a los ríos que descargan sus aguas cerca del PNSAV son utilizadas con fines agrícolas, ganaderos, industriales y urbanos.

### **Concentraciones de metales en *Elysia crispata*.**

Como se mencionaba anteriormente, los organismos bioindicadores se pueden dividir en bioindicadores sensitivos o que reflejan el efecto y bioindicadores acumulativos o que

reflejan la tendencia del tóxico acumulado (Markert et al., 1999). En relación a los niveles de metales acumulados en el molusco *Elysia crispata* sin considerar los niveles de Hg, el arrecife de Hornos es > I. Sacrificios > I. Verde, sin embargo, I. Sacrificios tiene los mayores niveles de cada uno de los metales restantes. Los niveles altos de Hg en I. Sacrificios puede deberse a su cercanía con la zona costera, su régimen de corrientes, su ubicación más cercana con descargas de aguas residuales costeras y municipales y, el aporte del río Jamapa.

Las concentraciones de mercurio encontradas en *Elysia crispata* en los arrecifes de Isla Sacrificios y Hornos (136.65  $\mu\text{g/g}$  y 18.38  $\mu\text{g/g}$  peso seco, respectivamente), son en extremo preocupantes pues contrastan con el 0.5  $\mu\text{g/g}$  a 1.0  $\mu\text{g/g}$  peso seco de límite permisible en moluscos (Nauen, 1983).

El probable origen del mercurio, refleja el incremento de las actividades humanas e industriales cercanas a esta zona y a la deficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales, al vertimiento sobre los caudales de los ríos de diversas industrias ubicadas en ciudades como Córdoba y Orizaba.

El límite máximo permisible de 1.0  $\mu\text{g/g}$  peso seco, para el cromo en moluscos según el Urban Services Department Headquarters de Japón (Nauen, 1983), indica que las poblaciones de las tres localidades islas se encuentran muy por arriba del límite máximo permisible de otros países, lo cual resulta preocupante desde el punto de vista ambiental con respecto a la biodiversidad.

Las concentraciones encontradas para el Pb (18.3, 19.28 y 23.7  $\mu\text{g/g}$  peso seco), para Hornos, Isla Sacrificios e Isla Verde respectivamente, con relación a los valores máximos permisibles para este metal que es de 2.5  $\mu\text{g/g}$  peso seco para moluscos, según el Departamento de Salud de Australia (Nauen, 1983), es extremadamente alto y establecen la existencia de un riesgo para la biota acuática.

El límite máximo permisible para el Cd (2.0  $\mu\text{g/g}$  peso seco) para moluscos del Departamento de Salud de Australia (Nauen, 1983), contra la concentración encontrada para Isla Sacrificios (0.49  $\mu\text{g/g}$ ) y Hornos (0.08  $\mu\text{g/g}$ ), demuestran que no son un riesgo para la biodiversidad de los arrecifes, ya que se encuentran por debajo del límite permisible. Las concentraciones bajas de este metal pueden deberse a que no hay una deposición muy grande de los desechos agrícolas hacia los ríos que atraviesan las ciudades contiguas al puerto de Veracruz; así como los aportes de las industrias aledañas deben ser bajos.

Con respecto al cobre, el límite máximo permisible para moluscos es de 150  $\mu\text{g/g}$ , peso seco, según el Departamento de Salud de New South Wales (Nauen, 1983). Las



concentraciones promedio encontradas para este metal fueron 6.16, 6.75 y 1.33  $\mu\text{g/g}$ , peso seco, para Hornos, Isla Sacrificios e Isla Verde, respectivamente.

Lo mismo sucede con el zinc, en Hornos, Isla Sacrificios e Isla Verde se encontraron concentraciones de: 18.26, 23.45 y 11.37  $\mu\text{g/g}$ , peso seco respectivamente. Según el Departamento de Salud de Australia (Nauen, 1983) el límite máximo permisible es de 200  $\mu\text{g/g}$ , peso seco para moluscos. Para estos dos últimos metales, tanto para el Cu como para el Zn, las concentraciones encontradas se encuentran por debajo de los límites permitidos, por lo que no representan un peligro para la biota acuática.

La determinación de los contaminantes en los tejidos de *Elysia crispata*, es un indicador indiscutible de su presencia en el medio, en particular cuando sus concentraciones se presentaron de manera variable; en algunos lugares las concentraciones fueron muy elevadas y en otras, bajas. Sin embargo, se ha visto que la acumulación de los contaminantes es selectiva y por lo tanto no todo contaminante puede indicarse a través de los análisis de moluscos, por lo que se considera de suma importancia el conocimiento de la concentración de contaminantes con otras especies para que puedan servir como distintos indicadores ambientales que ayuden a la determinación de impacto ambiental por contaminación, para tener una mejor evaluación de calidad ambiental del PNSAV.

## CONCLUSIONES

Las concentraciones de metales encontradas en la especie *Elysia crispata*, en lo general, presentaron mayores concentraciones respecto a especies reportadas para áreas contaminadas, excepto el Cd, Cu y Zn, que fueron los metales que presentaron concentraciones bajas; siendo el Cd el metal que reportó las concentraciones mínimas.

El Hg presentó una alta concentración en Isla Sacrificios.

La población de Isla Verde presentó en general las mayores concentraciones de contaminantes orgánicos (hidrocarburos aromáticos policíclicos y plaguicidas organoclorados), seguida de I. Sacrificios y finalmente Hornos con las menores concentraciones, de los cuales el naftaleno, el benzo(a)antraceno y el benzo(b)fluoranteno se encontraron en los tres arrecifes, así como los plaguicidas aldrín y dieldrín, heptacloro y

epóxido de heptacloro y el hexaclorobenceno, solo el DDT fue detectado en dos de los tres arrecifes muestreados, siendo Hornos el arrecife donde no fue detectado este plaguicida.

Por otro lado, es I. Sacrificios la que presenta las mayores concentraciones de metales, seguida de Hornos y finalmente I. Sacrificios.

Se puede decir finalmente que el arrecife que presenta mayor impacto por los resultados observados en el opistobranquio es I. Sacrificios y la que se mantiene más saludable es el arrecife Hornos.

Sin embargo, no existe una relación clara entre los arrecifes respecto a su ubicación con el Puerto y a la concentración de los mayores contaminantes que presentan cada una, aun cuando Hornos está pegado al puerto.

Dada la capacidad de acumulación de contaminantes de reciente presencia y los históricos como los organoclorados, del molusco-opistobranquio *Elysia crispata*, se puede proponer como un organismo bioindicador de contaminación en los arrecifes del PNSAV.

## **RECOMENDACIONES**

Las concentraciones de contaminantes reportadas en este trabajo pueden servir como base a futuras investigaciones de esta especie y del estado de salud de los arrecifes mexicanos.

Se recomienda realizar análisis de sedimentos y agua junto con los organismos a utilizar como monitores para tener una idea más clara de los contaminantes que hay presentes en el medio y lo que acumule el organismo para poder discernir si el organismo está acumulando algún evento reciente, como derrames petroleros, o acumulación histórica, como la acumulación en sedimentos de plaguicidas organoclorados principalmente ya que lleva años su degradación, lo cual puede indicar si está en riesgo el hábitat que se está monitoreando y para que con todo esto a futuro se puedan proponer organismos, como lo puede ser este molusco *Elysia crispata*, como organismos biomonitores.

## LITERATURA

Abbott, T. 1974. American Seashells. Van Nostrand Reinhold Company. 663 pp.

Acosta-González, G., G. Horta-Puga y E. Tovar-Juárez. 2000. Metales pesados en esqueleto del erizo de mar *Echinometra lucunter* en el Sistema Arrecifal Veracruzano. *I Congreso Nacional de Arrecifes de Coral*. Veracruz, Veracruz, México. Junio 28-julio 1°. 63 p.

Acosta-González, G. 2002. Metales pesados en un sistema bentónico de dos arrecifes de coral en Veracruz. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, 56 p.

Albert, L.A. y J. A. Benítez, 1996. Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros, p. 107-123. *In*: A.V. Botello, J. L. Rojas Galaviz, J. A. Benítez y D. Zárate-Lomelí (Eds.) Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche. México, 666p.

Anderson, J.W., J. M. Neff, B.Z. Cox, H.E. Tatem y G.M. Hightower, 1974. The effect of oil on estuarine animals: Toxicity, uptake and depuration, respiration, p. 285-310, *In*: F. J. Vernberg and W.B. Vernberg (Eds.), Pollution and Physiology of Marine Organisms. Academic Press, Inc., New York.

Arenas-Fuentes, V., 2005. Programa de Desarrollo Sustentable y Diagnóstico ambiental del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Centro de Ecología y Pesquerías, Universidad Veracruzana. Documento interno.

Baqueiro-Cárdenas, E. R., L. Borabe, C. G. Goldaracena Islas y J. Rodríguez Navarro 2007. Los moluscos y la contaminación. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78: 1S- 7S.

Beeby, A. 2001. What do sentinels stand for? *Environmental Pollution* 112 (2001) 285-298.

Bertsch, H. 1973. Zoogeography of opisthobranchs from tropical west America. *The Echo* (Western Society of Malacologists). 5: 47-54

Botello, A. V., 1996. Características, composición y propiedades fisicoquímicas del petróleo, p. 203-210. *En*: A. V. Botello, J. L. Rojas-Galaviz, J.A. Benítez, y D. Zárate-Lomelí (Eds.). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. EPOMEX Serie Científica 5. Universidad Autónoma de Campeche. México, 666 p.

Botello A., G. Ponce, A. Toledo, G. Díaz González y S. Villanueva 1996. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. p. 25-44. En: A. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J.A. Benitez, D. Zárate-Lomelí (eds.). Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica, México.

Brandt, C. A., N. J. Aimo, W. R. Barchet, J. M. Becker, T. O. Eschbach, Ma. del C. González-Macías, M. M. Molina, T. Miles, J. M. Neff, R. Villaseñor y J. A. Ward. 2009. Programa de vigilancia ambiental. Pp. 33-62. En: L. A. Soto y Ma. Del C. González-Macías (compiladores). PEMEX y la salud ambiental de la Sonda de Campeche. Batelle Memorial Institute, Instituto Mexicano del Petróleo, Universidad Autónoma Metropolitana y Universidad Nacional Autónoma de México. 397 pp.

Capó-Martí, M. A., 2007. Principios de Ecotoxicología, diagnóstico, tratamiento y gestión del Medio Ambiente. Editorial Tébar. Madrid, España, 320 pp.

Clark, R.C. y D. W. Brown, 1977. Petroleum: properties and analyses in biotic and abiotic systems, p. 1-89. In: D.C. Malins (Ed.). Effects of Petroleum on Arctic and Subarctic Marine Environments and Organisms. Vol. 1 Academy Press, New York.

Calva, L. y Ma. del R. Torres., 1998. Plaguicidas organoclorados. Disponible en: <http://www.izt.uam.mx/contactos/n30ne/pdf/plaga.pdf>

Cifuentes–Lemus, J. L., P. Torres-García y M. M. Frías. 1991. El océano y sus recursos XII. Serie El futuro de los océanos, la ciencia desde México. Fondo de Cultura Económica (SEP-CONACYT), México, D.F. 148 pp.

Conti, M. E. y G. Cecchetti. 2003. A biomonitoring study: trace metals in algae and molluscs from Tyrrhenian coastal areas. Environmental Research, 93: 99-112.

Davison, W., C.E. Franklin, J.C. MacKenzie y M.C.R. Dougan, 1992. The effects of acute exposure to the water soluble fraction of diesel fuel oil on survival and metabolic rate of an antarctic fish (*Pagothenia borchgrevinki*). Comparative Biochemistry and Physiology 102C: 185-188.

De la Lanza–Espino, G. 1965. Estudio preliminar de algunos factores físicos y químicos de las aguas costeras de Veracruz, Ver. Tesis Profesional. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México.

De la Lanza–Espino, G., C. Cáceres–Martínez, S. Adame–Martínez y S. Hernández–Pulido. 1999. Diccionario de Hidrología y Ciencias afines. Instituto de Biología, UNAM, Editorial Playa y Valdés., México. 23-247p.

Diario Oficial de la Federación. 1992. Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicada frente a las costas de los Municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del estado de Veracruz Llave, con superficie de 52,238-91-50 hectáreas. Secretaría de Desarrollo Social, Diario Oficial de la federación, 24 de agosto de 1992, Tomo CDLXVII (16): 6-15.

Echaniz–Hernández, V. 1988. Determinación de los niveles de hidrocarburos en agua, sedimentos recientes y hojas del pasto marino *Thalassia testudinum* (Köning, 1805) en tres islas arrecifales del Puerto de Veracruz, Veracruz. Tesis Profesional Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 81 pp.

Galar–Martínez, M., L. M. Gómez- Oliván, y A. Amaya-Chávez, 2009. Toxicología ambiental. Pp. 133-187. *En*: Medio Ambiente y Salud. Morales-González, J. A., Mendoza-Pérez, J. A., Chanona-Pérez, J., Madrigal-Santillán, E. O., Flores-Valle, S. O., Morales-González, A. y Martínez-Risco, P. L. (editores). Universidad Nacional del Estado de Hidalgo, México, 400 p.

García–Cubas, A., M. Reguero y L. Jácome. 1994. Moluscos arrecifales de Veracruz, México (Guía de campo). Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal. 143p.

Gold–Bouchot, G. 2000. El petróleo: Características e Impacto Ambiental. *En*: Payán Cervera, A. R., Salazar Sáenz, F. X. y Álvarez Álvarez, L. H. (Coord.). Petróleo, medio ambiente y sociedad. Senado de la República, México, D.F.

Gold–Bouchot, G., 2004. Hidrocarburos en el Sur del Golfo de México. Pp. 655-664. *In*: Diagnóstico ambiental del Golfo de México. M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (compiladores). Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México. 1112 p.

González, C. E., 1990. Determinación de los niveles de hidrocarburos alifáticos y aromáticos en sedimentos recientes de la plataforma continental de los estados de Tabasco y Campeche, México. Tesis de Licenciatura (Biólogo) Escuela Nacional de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. 108 p.

González–Solís, V., 1985. Composición y estructura poblacional de las anémonas de Isla Verde. Tesis Prof. ENCB, IPN. México. 40 p.

Gutiérrez de Velazco y Prieto. 1985. Proyecto arquitectónico para la Isla de Sacrificios. Universidad Cristóbal Colón, Veracruz, México.

Gutiérrez, D., C. García Sáez, M. Lara y C. Padilla. 1993. “Comparación de arrecifes coralinos: Veracruz y Quintana Roo”. Pp. 787-806. *En*: S. I. Salazar Vallejo y N. E. González (comps.). Biodiversidad marina y costera de México. Conabio-Ciqro.

Hernández-Aguilera, J. L., R. E. Toral-Almazán, M. A. Orozco-Colunga y Virgilio E. Arenas-Fuentes. 2010. Inventario y monitoreo de la biodiversidad de los arrecifes coralinos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, arrecifes Isla Verde y Hornos. Informe al permiso de Pesca de Fomento No. DGOPA/09397.040909.3012. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México y Estudio y Conservación de la Naturaleza, A. C. 36 pp.

Horta–Puga, G., Barba-Santos, G., 1999. Veracruz Reef System, Golf of Mexico. AGRRA Field Reports. Disponible en: <http://www.coral.noaa.gov/agra/reports/Veracruz.html>.

Instituto de Investigación Oceanográfica del Golfo y Mar Caribe, Departamento de Estudios de la Contaminación Marina., 1995. Bioacumulación de metales pesados en el tejido del ostión *Crassostrea virginica* en el sistema lagunar Boca del Río-Mandinga, Veracruz: Reporte técnico. 107 pp.

Instituto Nacional de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 1996. Parque Marino Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Instituto Nacional de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Enero de 1996. [www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/2/sav.html](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/2/sav.html). (13 de octubre de 2009).

Jordán–Dahlgren, E., 2004. Los Arrecifes Coralinos del Golfo de México: Caracterización y Diagnóstico. Pp. 555-562. *In*: Diagnóstico ambiental del Golfo de México. M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (compiladores). Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México. 626 p.

López de Buen, L., 2009. Caracterización de contaminación por plaguicidas organoclorados en el sistema arrecifal veracruzano, a través del Erizo negro (*Echinometra lucunter*). Centro de Ecología y Pesquerías. Universidad Veracruzana. Documento interno.

Lot–Helgueras, A., 1971. Estudios sobre fanerógamas marinas en las cercanías de Veracruz, Ver. An. Inst. Biol. UNAM. Ser. Bot. México. 42(1): 2–48.

McDonald, D. D., Carr, R. S., Calder, F. D., Long, E. R., Ingersoll, C. G. 1996. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology* 5 (4), pp. 253-278.

Medellín-Zenil, A. 1955. Exploraciones en la Isla de Sacrificios. Informe. Gobierno del Estado de Veracruz, Dirección General de Educación, Departamento de Antropología, Xalapa, Veracruz.

Markert, B. A., Anton M. Breure y Harald G. Zechmeister. 2003. Trace Metals and other Contaminants in the Environment. Volumen 6, 2003, pag. 3-39.

Markert, B., O. Wappelhorst, V. Weckert, U. Herpin and U. Siewers, *et al.*, 1999. The use of bioindicators for monitoring the heavy metal status of the environment. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 1999, Volume 240, Number 2, Pages 425-429.

Medina-González, R., C. Zetina-Moguel, M. Comas-Bolio y R. Pat-Canul. 2004. Concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos y en tres especies de pepino de mar (clase *holothuroidea*) de las costas del Estado de Yucatán, México. Ingeniería 8-2:7-19.

Miranda F. y E. Hernández, X., 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Biol. Soc. Bot. México. 28: 29-179.

Morlán-Cahue, M. 2003. Determinación de metales pesados (Fe, Mn, Pb y Zn) en macroalgas clorofitas del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis profesional. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. 63 p.

Myers, M., L. Johnson, O. Olson, C. Stehr, B. Horness, T. Collier, y B. McCain, 1998. Toxicopathic hepatic lesions as biomarkers of chemical contaminant exposure and effects in marine bottomfish species from the Northeast and Pacific Coasts, USA. *Marine Pollution Bulletin*, 37: 92-113.

National Academy of Science, 1985. Oil in the Sea: Inputs, Fates and Effects. The National Academies Press. Washington, D. C. 602 pp.

Nauen, C. E., 1983. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fisheries products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, October, 1983. 100 p.

Neff, J., 2002. Bioaccumulation in marine organisms: effect of contaminants from oil well produced water. Amsterdam: Elsevier, 2002. 452 p.

Neff, J. W., 1979. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment Sources, fates and biological effects. Applied. Science Publishers, London. 262 p.

NOAA's Status and Trends Mussel Watch Program (MWP), U.S.A., 1986-1987. 2001. NOAA.

Noreña-Barroso, E., O. Zapata-Pérez; V. Ceja-Moreno y G. Gold-Bouchot 1998. Hydrocarbons and Organochlorine Compounds in Sediments from Bay of Chetumal, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 61(1): 80-87.

Noriega-Escobar, E. 2001. Metales pesados en *Thalassia testudinum* (pasto marino) en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis Profesional Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, 48 p.

PEMEX, 1987. Evaluación de los corales escleractinios del Sistema Arrecifal de Veracruz. Petróleos Mexicanos y Secretaría de Marina, México. 119 pp.

RAMSAR, 2004. Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar. 13 de octubre de 2009. <http://ramsar.conanp.gob.mx/documentos/fichas/33.pdf>.

Rivera-Ramírez, F., 2006. Determinación de metales traza (Cu, Ni, Pb, V y Fe) en agua de mar en dos especies de corales en el Arrecife Sacrificios del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Distrito Federal, México, 105 p.

Rosales, H. L., E. A. Carranza, y R.U. Álvarez. 1986. Sedimentological and Chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, México. And Inst. Cienc. Mar. Limnol. UNAM. México. 13:19-28.

Sánchez-Pérez, L. 1994. Determinación de metales pesados en el coral pétreo *Madracis decactis* (Cnidaria: Scleractinia) en el arrecife el Verde, Veracruz. Tesis Profesional Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.

Secretaría de Marina, 2000. Programa de Manejo del Parque Marino Nacional “Sistema Arrecifal Veracruzano”. México. 126 pp.

SEMARNAT, INE y Universidad Autónoma de Tamaulipas. 2007. Proceso de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe, región costero-terrestre y marina, fase de caracterización. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Universidad Autónoma de Tamaulipas. 801 pp.

Tello-Mussi, J. L. 2000. Distribución de biotopos en la zona de la planicie arrecifal de Isla Verde, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 61 p.



Thebault H., 2005. The Handbook of Environmental Chemistry, Volume 5, The Mediterranean Sea, pages 345-359.

Tovar-Juárez, E. 2000. Evaluación de metales pesados en dos sistemas bentónicos arrecifales de Veracruz, Veracruz. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México, 68 p.

Tovar, E., G. Horta-Puga y G. Agosta. 2000. Metales pesados en *Aplysia dactilomela* en dos arrecifes de Veracruz. *I Congreso Nacional de Arrecifes de Coral*. Veracruz, Veracruz, México. Del 28 de junio al 1° de julio. 63 p.

UNAM-SEMARNAT, 2007. Análisis del crecimiento urbano e impacto en el ambiente físico del área conurbada de la ciudad de Veracruz: el caso del municipio de Boca del Río. 20 de octubre de 2010. [http://www.ine.gob.mx/descargas/ord\\_ecol/informe\\_boca\\_rio\\_veracruz.pdf](http://www.ine.gob.mx/descargas/ord_ecol/informe_boca_rio_veracruz.pdf)

United Nations and United Nations Environment Programme, 1985. Regional Seas. GESAMP: Cadmium, lead and tin in the marine environment. UNEP Regional Seas Report and Studies No. 56. GESAMP Report and Studies 22: 1-62 p.

Vargas-Hernández, J. M., A. Hernández-Gutiérrez y L. F. Carrera-Parra. 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano. In Biodiversidad Marina y Costera de México. S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.) Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO. México. 559-575 pp.

Vázquez-Botello, A., S. Villanueva-Fragoso y L. Rosales-Hoz, 2004. Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México. Pp. 681-702. *In: Diagnóstico ambiental del Golfo de México*. M. Caso, I. Pisanty y E. Ezcurra (compiladores). Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México. 1112 p.

Wade TL, Velinsky DJ, Rainharz J. 1994. Tidal river sediments in the Washington D.C. area. II. Distribution and sources of organic contaminants. *Estuaries* 17(2): 321-333.

Wan, H., F. R. Higginson, C.R. Harris, y K. W. McDougall, 1989. Organochlorine insecticide in soils used for vegetable and tropical fruit production in the Cudgen-Durahbah area of New South Wales. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 42.

Zamora-Silva, B. A., 2003. Opistobranquios béticos de La Gallega, Veracruz, México. Tesis Profesional. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. 109 p.

**ANEXO I**  
**CURVAS DE CALIBRADO**  
**(METALES)**

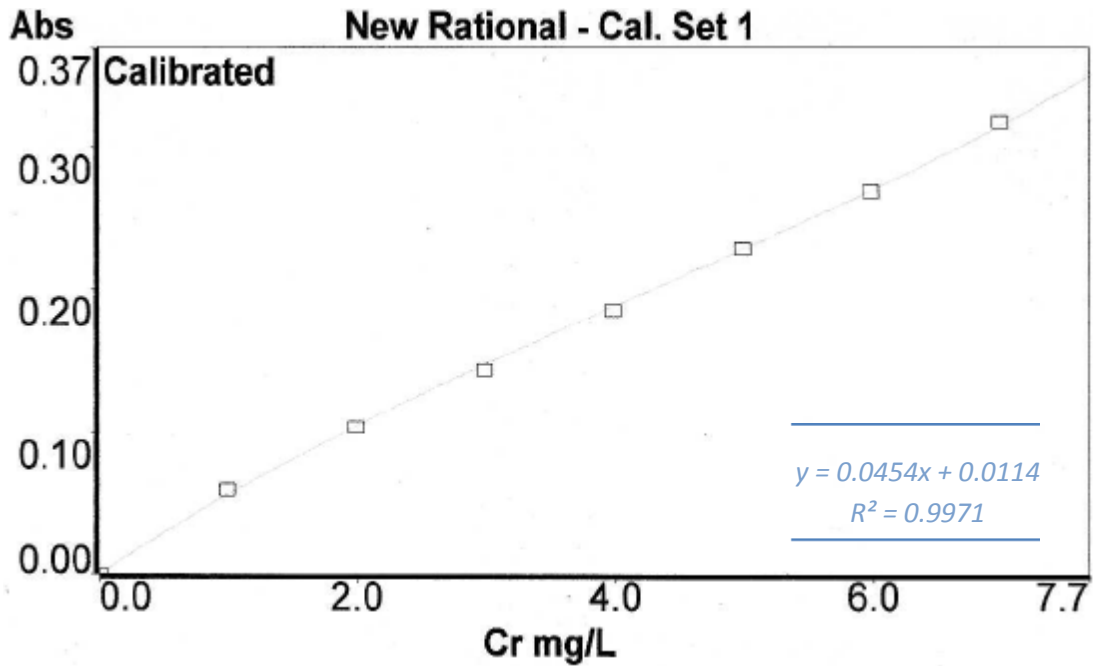


Fig. 1. Curva de calibración de cromo total

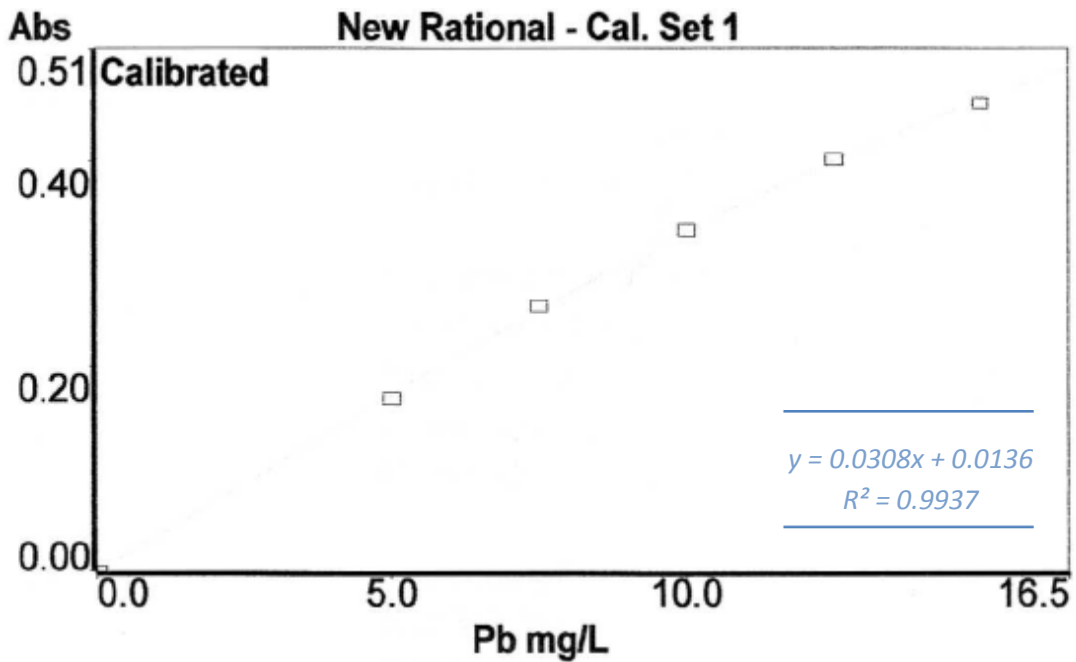


Fig. 2. Curva de calibración de plomo

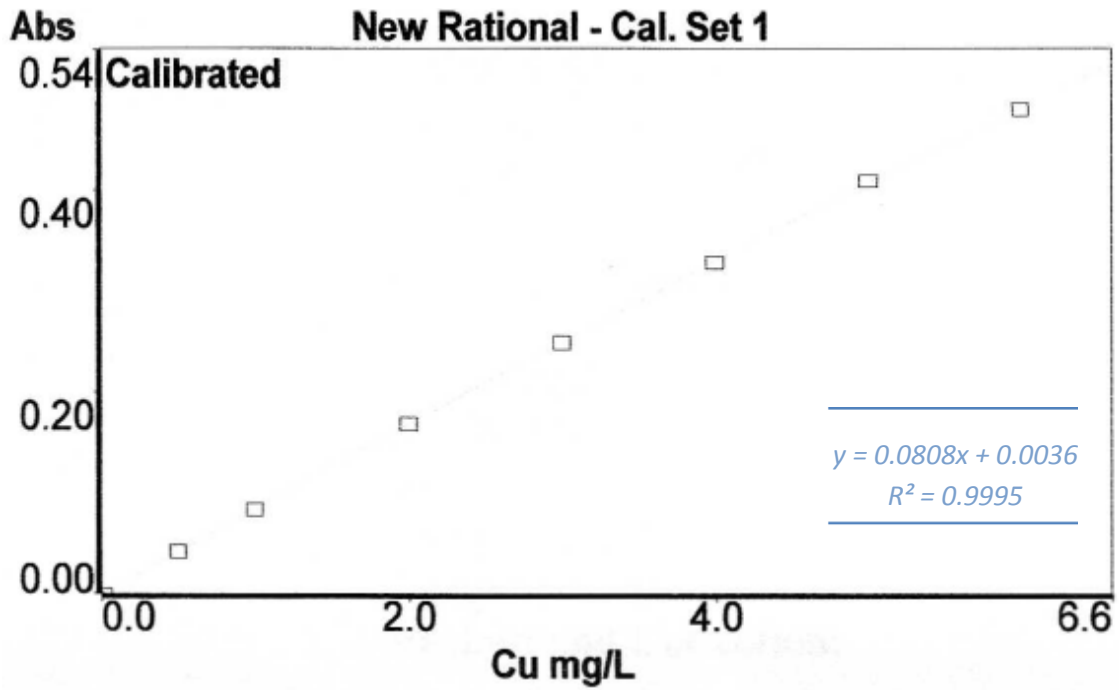


Fig. 3. Curva de calibración de cobre

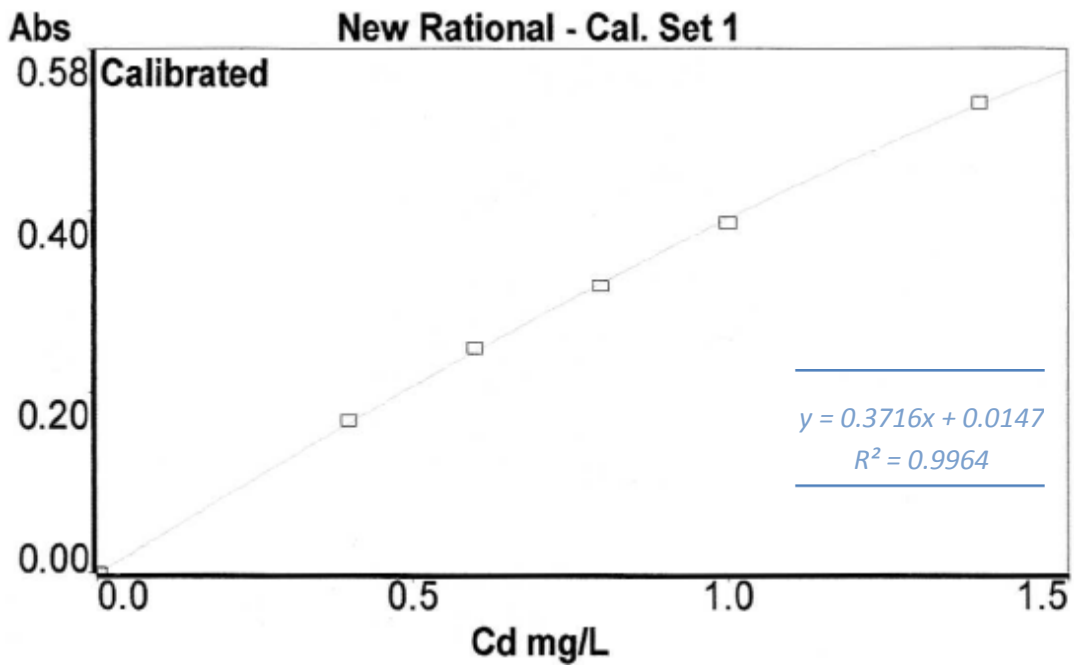


Fig. 4. Curva de calibración de cadmio

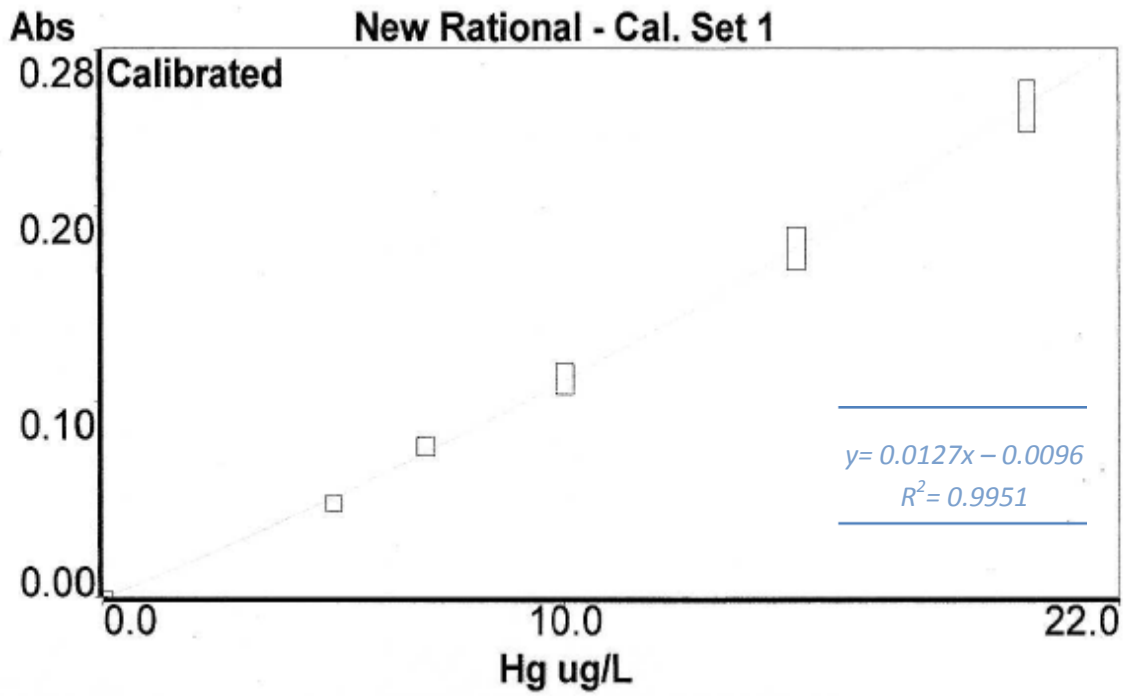


Fig. 5. Curva de calibración de mercurio

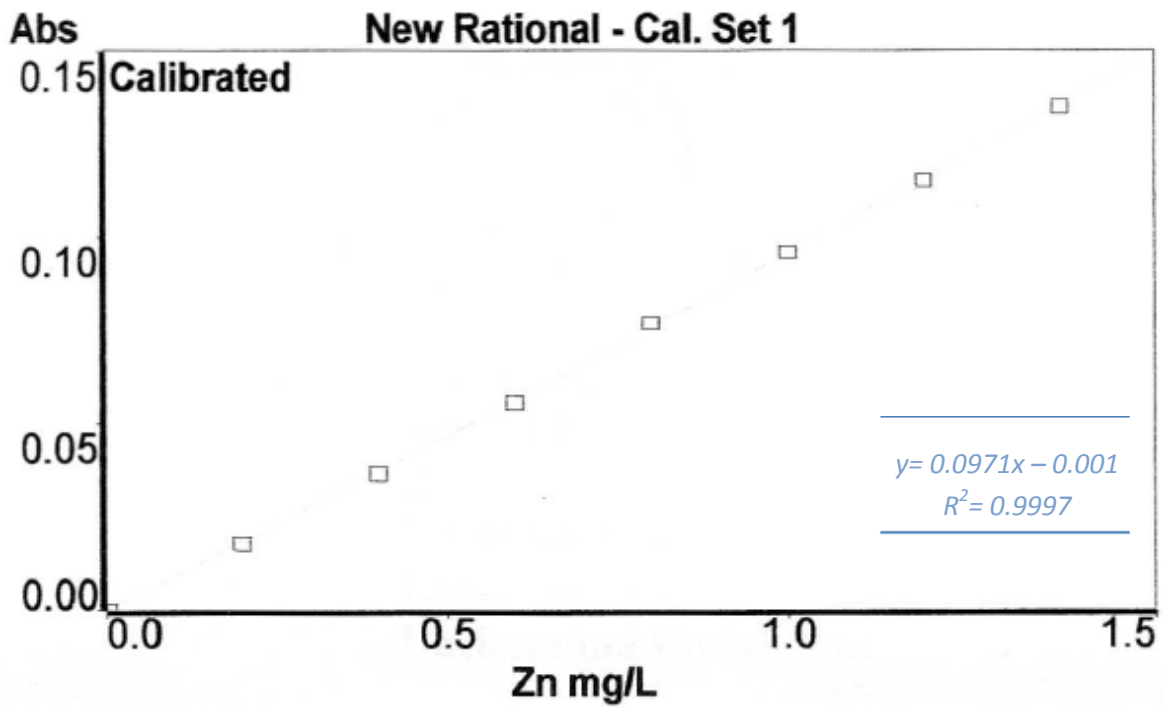
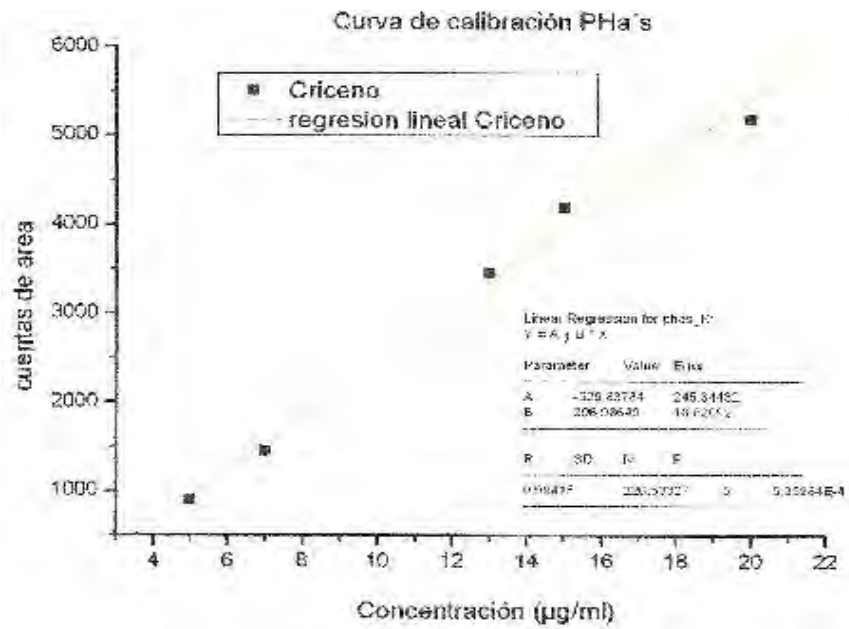
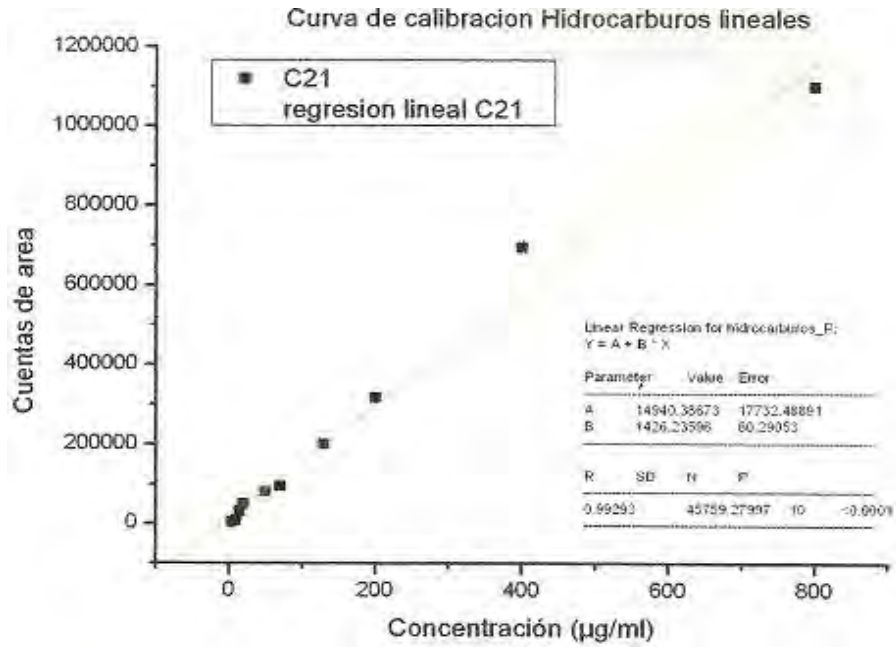


Fig. 6. Curva de calibración de Zn<sup>+2</sup>

## (HIDROCARBUROS)



## ANEXO II

Tabla 1. Datos de campo Arrecife de Isla Verde 26-28 de octubre de 2007.

Latitud N	Longitud W	Especie	Sustrato	Temperatura
19° 12' 01.5"	96° 04' 05.1"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 12' 01.6"	96° 04' 05.1"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 12' 14.2"	96° 03' 52.7"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.4"	96° 03' 52.5"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.4"	96° 03' 52.5"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.5"	96° 03' 52.7"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.5"	96° 03' 52.7"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.5"	96° 03' 52.5"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.6"	96° 03' 52.8"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.6"	96° 03' 52.8"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.6"	96° 03' 52.9"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.4"	96° 03' 52.9"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C
19° 12' 14.7"	96° 03' 52.7"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 14.1"	96° 03' 52.4"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C
19° 12' 13.3"	96° 03' 52.3"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C
19° 12' 11.2"	96° 03' 52.1"	<i>E. crispata</i>	Coral	25°C

Tabla 2. Datos de campo Arrecife de Isla Verde 27-29 de julio de 2008.

Latitud N	Longitud W	Especie	Sustrato	Temperatura
19° 12' 00.5"	96° 04' 04.3"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 12' 06.0"	96° 03' 57.6"	<i>E. crispata</i>	Alga	25°C
19° 12' 05.8"	96° 03' 58.0"	<i>E. crispata</i>	Alga	25°C
19° 12' 04.9"	96° 03' 59.8"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 12' 04.9"	96° 03' 59.8"	<i>E. crispata</i>	Alga	25°C

19° 12' 03.4"	96° 03' 58.7"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 12' 02.4"	96° 03' 59.7"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 12' 02.4"	96° 03' 59.7"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 12' 02.4"	96° 03' 59.2"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 12' 01.6"	96° 03' 59.0"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 12' 00.5"	96° 03' 58.6"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 12' 00.7"	96° 03' 58.5"	<i>E. crispata</i>	Alga	25°C

Tabla 2. Datos de campo Arrecife de Isla Sacrificios 26-28 de octubre de 2007.

Latitud N	Longitud W	Especie	Sustrato	Temperatura
19° 10' 29.3"	96° 05' 25.8"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 29.2"	96° 05' 25.7"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 29.3"	96° 05' 25.7"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 29.2"	96° 05' 25.7"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 29.2"	96° 05' 24.3"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 29.2"	96° 05' 24.3"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 10' 29.2"	96° 05' 24.3"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 10' 29.1"	96° 05' 23.9"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 29.2"	96° 05' 24.3"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C
19° 10' 29.4"	96° 05' 24.3"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 29.3"	96° 05' 24.1"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 10' 29.3"	96° 05' 24.1"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 10' 29.1"	96° 05' 23.9"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C

Tabla 2. Datos de campo Arrecife de Isla Sacrificios 27-29 de julio de 2008.

Latitud N	Longitud W	Especie	Sustrato	Temperatura
19° 10' 35.5"	96° 05' 27.9"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 34.0"	96° 05' 28.4"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 34.0"	96° 05' 28.4"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C

19° 10' 34.9"	96° 05' 28.1"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 35.0"	96° 05' 28.0"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C
19° 10' 36.7"	96° 05' 27.2"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 34.9"	96° 05' 28.1"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 10' 35.0"	96° 05' 28.0"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 10' 36.9"	96° 05' 27.2"	<i>E. crispata</i>	<i>Thalassia testudinum</i>	25°C
19° 10' 37.3"	96° 05' 26.9"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 37.3"	96° 05' 26.9"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 36.7"	96° 05' 27.2"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 10' 29.9"	96° 07' 23.6"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C

Tabla 2. Datos de campo Arrecife Hornos 26-28 de octubre de 2007.

Latitud N	Longitud W	Especie	Sustrato	Temperatura
19° 11' 35.6"	96° 06' 54.0"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 35.4"	96° 06' 53.8"	<i>E. crispata</i>	Roca	25°C
19° 11' 24.2"	96° 07' 22.0"	<i>E. crispata</i>	Roca	25°C
19° 11' 25.1"	96° 07' 22.0"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C
19° 11' 23.6"	96° 07' 24.9"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 18.2"	96° 07' 21.5"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 22.9"	96° 07' 25.7"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 22.5"	96° 07' 24.8"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 22.3"	96° 07' 24.7"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 17.5"	96° 07' 21.8"	<i>E. crispata</i>	Roca	25°C
19° 11' 17.5"	96° 07' 19.7"	<i>E. crispata</i>	Roca	25°C



Tabla 2. Datos de campo Arrecife Hornos 27-29 de julio de 2008.

Latitud N	Longitud W	Especie	Sustrato	Temperatura
19° 11' 17.8"	96° 07' 20.2"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 17.6"	96° 07' 20.3"	<i>E. crispata</i>	Roca	25°C
19° 11' 17.5"	96° 07' 20.8"	<i>E. crispata</i>	Roca	25°C
19° 11' 17.6"	96° 07' 20.9"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C
19° 11' 17.6"	96° 07' 20.9"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C
19° 11' 17.6"	96° 07' 21.3"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C
19° 11' 17.8"	96° 07' 21.5"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 17.9"	96° 07' 21.6"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 17.3"	96° 07' 21.9"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 17.2"	96° 07' 21.8"	<i>E. crispata</i>	Arena	25°C
19° 11' 41.4"	96° 07' 23.6"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C
19° 11' 41.4"	96° 07' 23.6"	<i>E. crispata</i>	Fragmento de coral	25°C

## ANEXO III

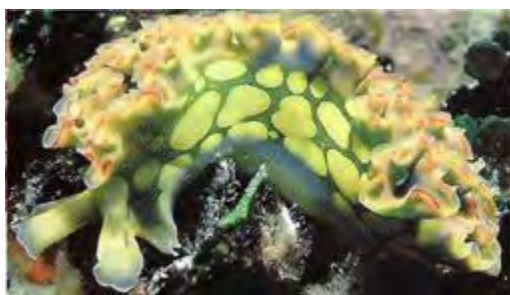
### Diagnosis taxonómica de *Elysia crispata* (Mörch, 1803)

---

*Elysia crispata* (Mörch, 1803)

#### Clasificación

<b>Reino</b>	<b>Animal</b>
<b>Phylum</b>	<b>Mollusca</b>
<b>Clase</b>	<b>Gastropoda (Cuvier, 1797)</b>
<b>Subclase</b>	<b>Opisthobranchia (Milne-Edwards, 1848)</b>
<b>Orden</b>	<b>Sacoglossa</b>
<b>Familia</b>	<b>Elysiidae</b>
<b>Género</b>	<b>Elysia (Risso, 1818)</b>
<b>Especie</b>	<b><i>Elysia crispata</i> (Mörch, 1863)</b>



**Sinonimias:** *Tridachia verrilli* Pruvot-Fol, 1946, *Tridachia pruvotfolae* Marcus, 1957, *Tridachia crispata* Mörch, 1863, *Elysia verrilli* Pruvot-Fol, 1946.

**Nombre común:** lechuga marina

**Diagnosis:** el tamaño de este organismo varía entre los 2 y 4 cm de longitud, de forma elongada u oval, presenta un color verde o azulado, con manchas blancas sobre la parte dorsal, en el pie y en los márgenes de las ondulaciones; los parapodios están plegados,

ondulados y levantados a lo largo del animal; presenta rinóforos tubulares simples y delgados; realiza simbiosis con zooxantelas (García-Cubas *et al.*, 1994).

**Hábitat:** especie común de aguas someras, frecuente sobre rocas cubiertas por algas, en *Thalassia testudinum* y coral muerto; en las Antillas es muy común en aguas poco profundas aunque se le ha visto hasta los 4 metros de profundidad (Abbott, 1974; Díaz y Puyana, 1994).

**Distribución geográfica:** Sur de Florida, Golfo de México y Mar Caribe hasta Barbados y la costa norte de Sudamérica y Bermudas (García-Cubas *et al.*, 1994).

**Hábitos alimenticios:** herbívoro (García-Cubas *et al.*, 1994).

**Dónde se localiza:** Laguna y cresta arrecifal. Algas, *Thalassia testudinum* y preferentemente coral muerto.

## ANEXO IV

### MÉTODO UTILIZADO PARA CROMATOGRAFÍA DE GASES

Método 8081A para el GC/ECD/FID con condiciones modificadas de:

Parámetro	Condición
Columna	HP-1, 60 m * 250 $\mu$ m* 0.25 $\mu$ m nominal
Modo de inyección	<i>Splitless</i>
Gas <i>carrier</i>	Helio
Gas <i>makeup</i>	He, 30 mL/min
Detector	FPD en modo fósforo
	Aire, 110 mL/min
Temperatura del horno	H <sub>2</sub> , 150 mL/min 150°C (2 min) @ 8°C/min hasta 220°C (0 min) @ 5°C/min hasta 230°C (4 min) @ 10°C/min hasta 240°C (0 min) hasta 245°C (16 min).
Temperatura inyector	250°C
Temperatura detector	250°C

El método usado para plaguicidas no usa detector FPD, sino, ECD-FID.

Y para el GC/MS fue utilizado el Método 8081A modificado de la EPA. Gas Portador: Helio pureza de 5.5 (ULTRA ALTA); modo splitless, muestra Inyector: 1 $\mu$ L, temperatura inyector 250°C, presión del inyector de 18.3 psi, temperatura del detector 250°C, Modo Detector SCAN; flujo de columna 1.5 mL/min; Presión columna 18.40 psi; tiempo de corrida 35 min.

Las inyecciones se hicieron diluyendo muestras con hexano/diclorometano (7:3 V/V).