



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

***“Contaminación por metales pesados en
los arrecifes de grupo sur del Sistema
Arrecifal Veracruzano”***



T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G A
P R E S E N T A:
ANA EDITH MARTÍNEZ RODRÍGUEZ

Director: Dr. Guillermo Javier Horta-Puga



Tlalnepantla de Baz, Estado de México 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis representa un fin de una etapa muy enriquecedora y el inicio de un camino exitoso. En toda la experiencia universitaria y la conclusión del trabajo de tesis, ha habido personas que merecen las gracias por que sin su valiosa aportación no hubiera sido posible este trabajo y también hay quienes las merecen por haber plasmado su huella en mi camino.

A mi madre

Ana María Rodríguez por los sacrificios realizados para que yo llegara hasta aquí, por mostrarme mis errores y ayudarme a corregirlos, festejaste cada uno de mis logros y me apoyaste en mis fracasos, por enseñarme a luchar por las cosas que quiero y nunca rendirme ante cualquier obstáculo, por enseñarme ese carácter tan fuerte que tienes mamá, para ti no existen imposibles, por enseñarme a disfrutar de la vida y de la naturaleza, porque a pesar de las dificultades, siempre buscaste la manera de que no abandonara mi felicidad que es mi carrera TE AMO mamá.

Éste trabajo es solo una pequeña muestra de lo mucho que te agradezco por la educación que me has brindado, porque siempre me has dado tu apoyo incondicional, por todo tu trabajo y dedicación para darme una formación académica y sobre todo humanista y espiritual, por ser una mujer ejemplar.

De ti es este triunfo y para ti es todo mi agradecimiento.

A mis Hermanos

Arturo Razo y César Martínez, por la compañía, el apoyo, cuidados y preocupaciones que me brindan, por que cada día aprendo de ustedes y por los momentos que convivimos juntos, que espero siempre así sea. Los quiero.

A mi Padre

José Antonio Rodríguez, por ser mi abuelito consentido, por su apoyo, cuidado y cariño incondicional cuando mi familia y yo lo hemos necesitado y por ser mi claro ejemplo de carácter, superación y dedicación en esta vida.

A mis Amigos

Liliana, Victor, Karina, Kenya, Carmen, Adrian y Juan, por todos estos 5 años juntos que pasamos risas, los llantos, las palabras de aliento, los éxitos, fracasos, festejos, en fin por todas las experiencias que las llevaré siempre en mi corazón, por tolerar mis dudas, temores y vanidades, mis enfados y molestias, porque a pesar de los errores cometidos entre nosotros nada nos ha separado y espero que nuestra historia siga así...

A mis compañeros y amigos de laboratorio, Maria de Lourdes y Milton Pantoja por apoyarme en este trabajo, por los momentos que pasamos juntos y principalmente por que no solo gane compañeros si no unos amigos excepcionales y mas por ti Lulú gracias por ser mi amiga.

A mis Asesores

Dr. Guillermo Javier Horta Puga por su apoyo académico, por sus sabios consejos que me han servido para seguir adelante, por su preocupación y también por sus regaños y críticas académicas y personales que siempre fueron para mejorar y que todo esto me ha servido para guiarme en el camino de la ciencia, sin su ayuda no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

A la Biol. Marisol Ávila por su apoyo en esta tesis y su amistad brindada.

Al Biol. Jose Luis Tello, por su apoyo, consejos y amistad que me brindo.

A los profesores, M. en C Guadalupe Oliva, Dr. Ignacio Winfield y Biol. Angel Lara por sus correcciones tan oportunas, que formaron parte del desarrollo de mi tesis.

Gracias a nuestra máxima casa de estudios, la UNAM por las grandes oportunidades que nos brinda como alumnos para desarrollarnos como personas y profesionistas.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.- <i>Antecedentes.....</i>	3
1.3.- <i>Objetivos.....</i>	5
2.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
2.2.- <i>Área de estudio.....</i>	6
2.3.- <i>Estrategia de muestreo.....</i>	9
2.4.- <i>Recolección de muestras.....</i>	9
2.5.- <i>Procesamiento de muestras.....</i>	9
2.6.- <i>Digestión química.....</i>	10
2.7.- <i>Análisis instrumental.....</i>	11
2.8.- <i>Procesamiento de datos.....</i>	11
3.-RESULTADOS.....	13
3.2 <i>Cu.....</i>	14
3.3 <i>Pb.....</i>	17
3. <i>Cd.....</i>	20
4.-DISCUSIÓN.....	24
4.2 <i>Comparación con otros estudios para las concentraciones de MP en los arrecifes del grupo sur del SAV.....</i>	24
4.3 <i>Limites Máximos Permisibles para Cu, Cd y Pb.....</i>	31
4.4 <i>Comparación en las concentraciones de Cu, Cd y Pb contenidas en los grupos Rhodophyta, Phaeophyta y Clorophyta.....</i>	32
4.5 <i>Variaciones en las concentraciones de Cu, Cd y Pb con respecto a los meses de muestreo..</i>	33
4.6 <i>Comparación entre arrecifes.....</i>	35
5.CONCLUSIONES.....	38
6.-BIBLIOGRAFIA.....	39
7.-ANEXO I.....	a

RESUMEN

Uno de los principales agentes de contaminación de la zona costera son los denominados metales pesados (MP) estos se encuentran presentes en los organismos y/o en la corteza terrestre. El grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) presenta varias características que podrían implicar la existencia de contaminación por MP como: su cercanía a la ciudad y al puerto de Veracruz; la descarga fluvial del río Jamapa, siendo una fuente potencial de estos, este escurrimiento transporta desde sedimentos, materiales en suspensión, efluentes domésticos, así como una gran cantidad de contaminantes derivados de las industrias que operan en la región, algunos de estos efluentes llegan a descargar directamente dentro de las áreas arrecifales cercanas como son las del grupo sur del SAV (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993, Vargas-Hernández *et al.* 1993, Tunnell 2007). Estos factores han sido los responsables de un aumento en los niveles ambientales de MP en el SAV (Horta-Puga y Ramírez-Palacios 1996). Las fanerógamas marinas entre ellas *Thalassia testudinum* y las macroalgas marinas pertenecientes a los grupos Phaeophyta (Algas pardas) (Bryan y Hummerston 1973) Chlorophyta (Algas verdes) (Ho 1990) y Rhodophyta (Algas rojas) (Malea *et al.* 1994) son de los bioindicadores de contaminación marina por MP más ampliamente utilizados (Rainbow y Phillips 1993) ya que proporciona información cualitativa y cuantitativa de MP en una zona (Buo-Olayan y Subrahmanyam 1996, Kruk-Dowgiallo y Pempkowiak 1997) pues responden esencialmente a la presencia de concentraciones de metales pesados disueltos en el agua circundante (Leal *et al.* 1997) reflejando su biodisponibilidad del contaminante. El objetivo del presente trabajo es determinar el grado de contaminación por los MP (Cu, Cd y Pb) de los arrecifes del grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano (Anegada de Afuera, Cabezo, Chopas, Isla de Enmedio, La Blanca, Rizo, Santiaguillo) usando como bioindicadores macroalgas marinas y la fanerógama marina *Thalassia testudinum*. La recolección las muestras se realizó con material de polietileno en planicie arrecifal, todo el material utilizado fue previamente lavado con HNO₃ al 10%, para eliminar residuos que pudieran alterar los resultados. Se llevo a cabo el análisis de los siguientes Cu, Cd y Pb por espectrofotometría de absorción atómica acoplado a un atomizador electrotérmico (Varian SpectrAA 800). Las concentraciones de Cu, Pb y Cd en macroalgas y *Thalassia testudinum* pertenecientes al grupo sur del SAV fueron por lo general menores a las concentraciones en especies

para áreas contaminadas y también a los Límites Máximos Permisibles que establecen las Normas Oficiales Mexicanas por lo que reflejan niveles bajos de MP disueltos en los arrecifes del grupo sur del SAV a si mismo no existen problemas de contaminación. Las concentraciones de Cd en el grupo de las Rhodophyta fueron menores significativamente a las de Chlorophyta y Phaeophyta. El único metal que tuvo diferencias significativas entre los meses de muestreo de julio y septiembre fue el Pb. No se encontró ninguna diferencia significativa entre la concentración de Cu, Pb y Cd para los siete arrecifes del grupo sur del SAV por lo que existe una distribución homogénea de estos metales.

1.- INTRODUCCIÓN

Uno de los principales agentes de contaminación de la zona costera son los denominados metales pesados (MP) estos se encuentran presentes en los organismos y/o en la corteza terrestre. En general entran al ambiente acuático a través de la deposición atmosférica, la erosión de la matriz geológica o de las actividades antropogénicas soliendo permanecer ya sea en forma soluble o en suspensión y tendiendo finalmente a precipitar hacia el fondo (Martin Deva Prasath y Hidayathulla Khan 2008). Los MP han llamado la atención debido a que no son biodegradables, son persistentes y tienden a acumularse fácilmente en los diferentes niveles tróficos (Díaz *et al.* 1996), si se les encuentra en elevadas concentraciones en el medio provocan efectos nocivos en los organismos y además de sus altos niveles de toxicidad, generan alteraciones en las actividades enzimáticas y fisiológicas así como desordenes neurofisiológicos, efectos teratogénicos, mutagénicos, desarrollo de enfermedades, alteraciones en la reproducción y en algunos casos la muerte (Bryan 1971, Mandelli 1979, Viarengo 1985, Ober *et al.* 1987).

El sur del Golfo de México (GM) ha sido considerado uno de los ambientes costeros más contaminados por MP (Páez-Osuna 2005). Este tipo de contaminantes son generados en las diversas ramas de la industria en la región costera del GM, incluidas las del refinado del petróleo, la producción de fertilizantes y actividades mineras que constituyendo una fuente de suministro de metales en la zona (Páez-Osuna 2005). En esta región se han registrado niveles altos de Cd, Cr, Hg y Pb en

agua, sedimentos superficiales recientes (ej. 20.9 $\mu\text{g/g}$ de Cu y 42.4 $\mu\text{g/g}$ de Pb) (Rosales-Hoz *et al.* 2007) y diversos organismos como corales (7.2 $\mu\text{g/g}$ de Cd, 6.9 $\mu\text{g/g}$ de Cu y 62.2 $\mu\text{g/g}$ de Pb) (Horta-Puga 2007), tanto de lagunas y ambientes estuarinos (214 $\mu\text{g/L}$ de Pb, 2 $\mu\text{g/L}$ de Cd y 8.5 $\mu\text{g/L}$ de Cu) (Villanueva y Páez-Osuna 1996) como en la zona costera.

Al sur del GM se localiza el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) este se constituye de 25 arrecifes de gran importancia socioeconómica, turística, pesquera y por la extracción de roca coralina con fines de construcción, así como su valor comercial y artesanal, siendo actividades que han generado un beneficio a la población. El SAV está altamente influenciado por las descargas de la pluma fluvial de dos sistemas de ríos tales como Jamapa y Papaloapan, mismos que transportan aguas de desechos municipales e industriales de diversas ciudades (Horta-Puga 2007), en cuanto a estas industrias en Veracruz se encuentran la manufactura de textil, siderúrgica, procesadora de alimentos además de pesticidas y fertilizantes empleados en la industria agropecuaria (Rosales-Hoz *et al.* 1986). Así mismo el drenaje fluvial de la ciudad de Veracruz, se vierte directamente al océano, sin ningún tratamiento previo y la planta de tratamiento de aguas residuales resulta insuficiente para el volumen generado, por lo que es frecuente que los desechos urbanos e industriales se viertan sin consideración alguna (Villanueva y Botello 1998). Otro factor de contaminación no sólo en esta región si no en todo el GM es la actividad de extracción, procesamiento y transporte de hidrocarburos que han provocado que con frecuencia ocurran derrames ya sea en forma accidental o deliberada de estos y que finalmente puedan ser acarreados por corrientes hasta los arrecifes del SAV (Linden *et al.* 1988). Estos factores han sido los responsables de un aumento en los niveles ambientales de metales pesados en el SAV (Horta-Puga y Ramírez-Palacios 1996).

El grupo sur del SAV presenta varias características que podrían implicar la existencia de contaminación por MP como: su cercanía a la ciudad y al puerto de Veracruz; la descarga fluvial del río Jamapa en el sur del GM, siendo una fuente potencial de estos, este escurrimiento transporta desde sedimentos, materiales en suspensión, efluentes domésticos, así como una gran cantidad de contaminantes derivados de las industrias que operan en la región, algunos de estos efluentes llegan a descargar directamente dentro de las áreas arrecifales cercanas como son las del grupo

sur del SAV (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993, Vargas-Hernández *et al.* 1993, Tunnell 2007) (Figura 1).

Las macroalgas marinas pertenecientes a los grupos Phaeophyta (Algas pardas) (Bryan y Hummerston 1973) Chlorophyta (Algas verdes) (Ho 1990) y Rhodophyta (Algas rojas) (Malea *et al.* 1994) son de los bioindicadores de contaminación marina por MP más ampliamente utilizados (Rainbow y Phillips 1993) ya que proporciona información cualitativa y cuantitativa de MP en una zona (Buo-Olayan y Subrahmanyam 1996, Kruk-Dowgiallo y Pempkowiak 1997). Las macroalgas tienen mecanismos de incorporación de metales que están regulados por su metabolismo celular, una fracción relativamente pequeña de la absorción de metales está asociada con los polisacáridos de la pared celular. Por otro lado, la absorción a largo plazo puede estar relacionada con la interacción del metal con los sitios de unión, como los polifenoles (Ragan *et al.* 1979, Garnham *et al.* 1992) o metaloenzimas y fitoquelatinas (Price y Morel 1990), que desempeñan un papel importante en la regulación intracelular de concentraciones iónicas. Esta incorporación es debida a procesos de transporte activo y/o pasivo que responden esencialmente a la presencia de concentraciones de MP disueltos en el agua circundante (Leal *et al.* 1997) reflejando su biodisponibilidad del contaminante.

Otros organismos que se han utilizado como bioindicadores son las fanerógamas marinas entre ellas *Thalassia testudinum* que dependiendo de las condiciones ambientales, pueden obtener los nutrientes necesarios para su crecimiento desde los sedimentos a través del rizoma así como también del agua circundante por las hojas (Thursby y Harlin 1982, Libes y Boudouresque 1987).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sur del Golfo de México (GM) ha sido considerado uno de los ambientes costeros más contaminados por MP (Páez-Osuna 2005). Este tipo de contaminantes son generados en las diversas ramas de la industria en la región costera del GM, incluidas las del refinado del petróleo, la producción de fertilizantes y actividades mineras que constituyendo una fuente de suministro de metales en la zona (Páez-Osuna 2005). En esta región se han registrado niveles altos de Cd, Cr, Hg y Pb en agua, sedimentos superficiales recientes (ej. 20.9 $\mu\text{g/g}$ de Cu y 42.4 $\mu\text{g/g}$ de Pb) (Rosales-Hoz *et al.* 2007) y diversos organismos como corales (7.2 $\mu\text{g/g}$ de Cd, 6.9 $\mu\text{g/g}$ de Cu y 62.2 $\mu\text{g/g}$ de Pb) (Horta-Puga 2007), tanto de lagunas y ambientes estuarinos (214 $\mu\text{g/L}$ de Pb, 2 $\mu\text{g/L}$ de Cd y 8.5 $\mu\text{g/L}$ de Cu) (Villanueva y Páez-Osuna 1996) como en la zona costera. Al sur del GM se localiza el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) este se constituye de 25 arrecifes de gran importancia socioeconómica, turística, pesquera y por la extracción de roca coralina con fines de construcción, así como su valor comercial y artesanal, siendo actividades que han generado un beneficio a la población. El SAV esta altamente influenciado por las descargas de la pluma fluvial de dos sistemas de ríos tales como Jamapa y Papaloapan, mismos que transportan aguas de desechos municipales e industriales de diversas ciudades (Horta-Puga 2007), en cuanto a estas industrias en Veracruz se encuentran la manufactura de textil, siderúrgica, procesadora de alimentos además de pesticidas y fertilizantes empleados en la industria agropecuaria (Rosales-Hoz *et al.* 1986). Así mismo el drenaje fluvial de la ciudad de Veracruz, se vierte directamente al océano, sin ningún tratamiento previo y la planta de tratamiento de aguas residuales resulta insuficiente para el volumen generado, por lo que es frecuente que los desechos urbanos e industriales se viertan sin consideración alguna (Villanueva y Botello 1998). Estos factores han sido los responsables de un aumento en los niveles ambientales de metales pesados en el SAV (Horta-Puga y Ramírez-Palacios 1996).

1.2 Antecedentes

Algunos de los estudios han usado macroalgas como indicadores de contaminación de metales pesados en zonas no arrecifales, entre los cuales destacan los siguientes: Seelinger y Edwards (1977) que evaluaron la contaminación por MP en la Bahía Raritan adyacente a Nueva York siendo una zona altamente industrializada, Arne *et al.* (1974) en Thundherims Fjord, Noruega dos áreas, una cerca de la costa y otra a 90 km de ella. Gonzáles-Fierro *et al.* (1994) determinaron metales pesados en los sedimentos y en organismos de la Laguna de Sontecomapan, Veracruz. Leal *et al.* (1997) en la costa de Oporto de Portugal, Haritonidis y Malea (1999) utilizaron *Ulva rígida* como bioindicador en el Golfo Themaikos (Grecia). Páez-Osuna *et al.* (2000) en las costas del Pacífico subtropical mexicano, Vodopivec *et al.* (2002) evaluó lo mismo en Península Antártica. Orduña-Rojas y Longoria-Espinoza (2006) evaluaron el contenido de metales en *Ulva lactuta* en el sureste del Golfo de California.

En zonas arrecifales se han destacado los trabajos de: Denton y Burdon-Jones (1986) en la Gran Barrera Arrecifal encontrando un bajo grado de contaminación, Dolgushina *et al.* (1995) evaluaron en las Islas Seychelles, la concentración de MP en las algas *Halimeda incrassata*, *H. Micronesica*, *Sargassum oligocystum*, *Turbinaria arnata* y *Padina boryana* y en pasto marino *Thalassodendron ciliatum*. Esslemont (2000) y Haynes (2000) determinaron la concentración de MP en la Gran Barrera Arrecifal. Más tarde Cram *et al.* (2006) evaluaron lo mismo en el sistema arrecifal de Cayo Arcas (México) donde detectaron un alto contenido de metales pesados como Ni, V y Zn atribuyéndolo al refinado del petróleo en la zona. Lewis y Chancy (2008) midieron las concentraciones totales de Hg en el Golfo de México en el agua, sedimento, fauna y algas marinas en áreas afectadas y no afectadas por fuentes contaminantes.

Para los reportes con *Thalassia testudinum* destacan: Whelan *et al.* (2005) quienes evaluaron el grado de contaminación por MP en la Laguna Madre de Texas en el Golfo de México. Solís *et al.* (2008) que evaluaron la concentración de MP en *Thalassia testudinum* en áreas virtualmente influenciadas por actividades antropogénicas en la costa de Caribe Mexicano. Así como otros estudios importantes:

Montgomery y Price (1979), Botello (1983), Nienhuis (1986), Guven *et al.* (1993) y Malea *et al.* (1994), Alfonso *et al.* (2008).

Para el SAV existen los siguientes trabajos: Tovar (2000) evaluó metales pesados en dos sistemas bentónicos arrecifales de Veracruz, utilizando como indicadores las algas *Dictyota volubilis*, *Cerithium crinale* y *Thalassia testudinum* en los arrecifes La Gallega e Isla Verde. Acosta (2002) evaluó en los mismos arrecifes con *Dictyota guineensis*. Morlán-Cahue y Opengo-Piña (2005) determinaron la concentración de metales pesados (Fe, Mn, Pb y Zn) en ocho arrecifes del SAV grupo norte utilizando las especies de macroalgas *Caulerpa cupressoides*, *C. sertularoides*, *C. racemosa*, *Halimeda discoidea* y *H. opuntia*. Rivera (2006) determinó Cu, Ni, Pb, V y Fe en el agua de mar, en dos especies de corales del arrecife sacrificios y sus variaciones mensuales por un año en el río Jamapa. Rosales-Hoz *et al.* (2007) evaluaron la implicación ambiental de los metales pesados en los sedimentos del arrecife de Isla Sacrificios. Así el contenido total de MP en los corales Escleractinios (Horta-Puga y Ramírez-Palacios 1996).

OBJETIVO GENERAL

Determinar el grado de contaminación por los MP (Cu, Cd y Pb) de los arrecifes del grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano.

OBJETIVOS PARTICULARES

Determinar el contenido de Cu, Cd y Pb en macroalgas marinas y en la fanerógama marina *Thalassia testudinum* pertenecientes a los diferentes arrecifes del grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano.

Determinar con base en la concentración de Cu, Cd y Pb presentes macroalgas marinas y en la fanerógama marina *Thalassia testudinum* si el SAV esta contaminado por metales pesados.

HIPOTESIS

El grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) se encuentra cerca a la ciudad y al puerto de Veracruz; a la descarga fluvial del río Jamapa misma que transporta sedimentos, materiales en suspensión, efluentes domésticos, así como una gran cantidad de contaminantes derivados de las industrias que operan en la región, por lo que por los que presentara un alto grado de contaminación por metales pesados.

JUSTIFICACIÓN

Al sur del GM se localiza el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) este se constituye de 25 arrecifes de gran importancia socioeconómica, turística, pesquera y por la extracción de roca coralina con fines de construcción, así como su valor comercial y artesanal, siendo actividades que han generado un beneficio a la población. Sin embargo en ocasiones dejan de ser un beneficio y se convierten en un problema para la salud pues los metales pesados han llamado la atención debido a que no son biodegradables, son persistentes y tienden a acumularse fácilmente en los diferentes niveles tróficos (Díaz *et al.* 1996) por lo que los humanos también están expuestos a

la alta toxicidad de los metales pesados, si se les encuentra en elevadas concentraciones en el medio provocan efectos nocivos en los organismos y además de sus altos niveles de toxicidad, generan alteraciones en las actividades enzimáticas y fisiológicas así como desordenes neurofisiológicos, efectos teratogénicos, mutagénicos, desarrollo de enfermedades, alteraciones en la reproducción y en algunos casos la muerte (Bryan 1971, Mandelli 1979, Viarengo 1985, Ober *et al.* 1987). Por lo tanto la evaluación del grado de contaminación por metales pesados en la zona es muy importante desde el punto de vista de salud publica, economico y ecologico.

ALCANCE

El presente estudio ayudara a contribuir en el conocimiento en cuanto al grado de contaminación por metales pesados en el grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano asi como reflejando las concentraciones disueltas disponibles para los organismos arrecifales. De igual manera nos demuestra que no existen normas oficiales para saber cuales son los limites de concentracion de metales pesados en algas y pastos marinos de estas áreas arrecifales.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

2.2 Área de estudio

En las costas del Golfo de México existe un sistema arrecifal ubicado frente al estado de Veracruz, el cual consiste de varias islas o bajos coralinos, de menos de 0,8 a 2km de longitud. El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) (Figura 1) esta formado por un conjunto de 25 arrecifes costeros y de plataforma. Dicho sistema se encuentra dividido por la desembocadura del río Jamapa en dos grupos el norte y el sur: el grupo norte esta ubicado frente al Puerto de Veracruz y el grupo sur se localiza frente al poblado Punta Antón Lizardo (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993). Los arrecifes del grupo sur (Anegada de Afuera, Cabezo, Chopas, Isla de Enmedio, La Blanca, Rizo, Santiaguillo) mismos que están marcados con un elipse oscuro en la Figura 1 constituyeron el área de estudio.

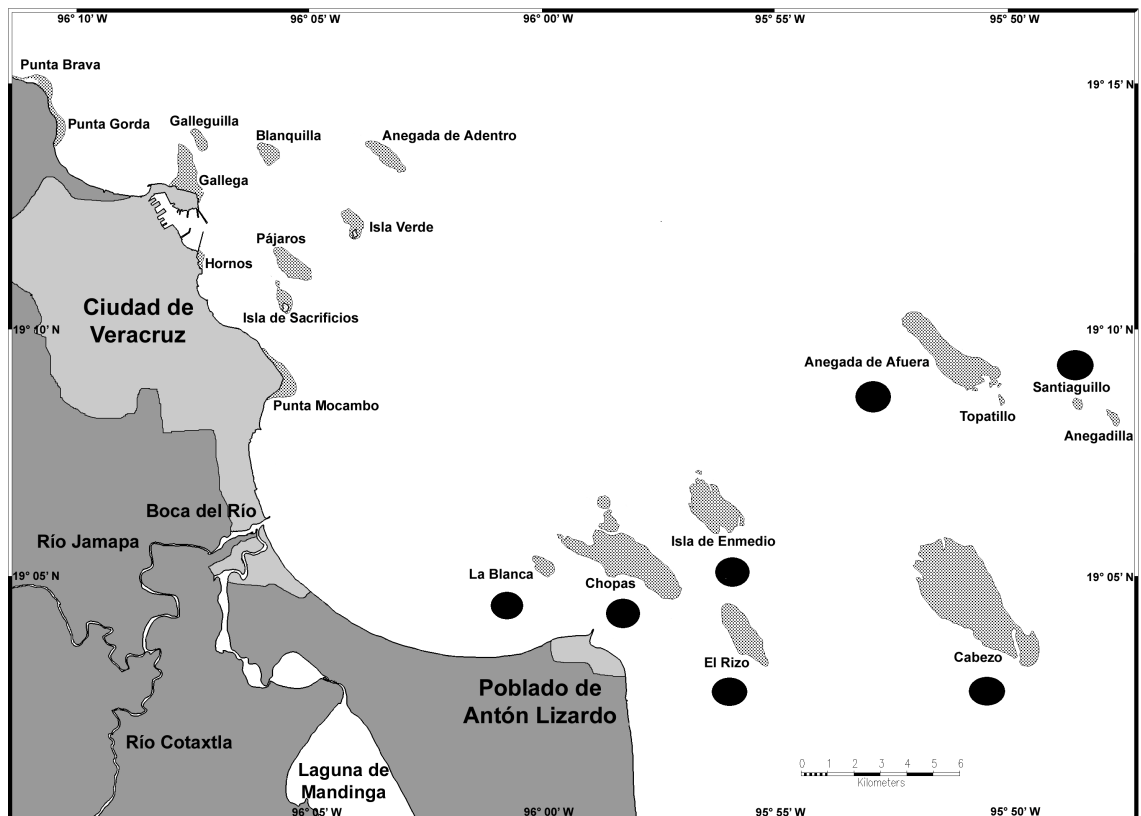


Figura 1. Mapa del área de estudio grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano (frente al poblado de Punta Antón Lizardo)

Existen tres ríos que desembocan en las cercanías del SAV y son la Antigua, Jamapa y Papaloapan. El agua de estos ríos tiene una alta carga de sedimentos,

derivadas de tierras erosionadas de las cuencas adyacentes. Presenta un clima caliente-húmedo con lluvias en verano A (W2'')(W)(i') de García (1964). El esquema climático del área puede sintetizarse en tres épocas del año. La primera es de nortes que abarca desde septiembre hasta abril, puede presentar escasa precipitación y frecuentes invasiones de masa de aire frío del norte. La segunda época es la de lluvias, que corresponde de Junio a octubre, con una máxima precipitación en septiembre 104.2 mm. En la primavera es la estación más seca y el mes más seco es en abril con una precipitación de 12.8mm que va de abril a junio este es un periodo cálido caracterizado por temperatura elevada, alta precipitación entre junio y agosto y vientos débiles del este que soplan más o menos permanentemente (Vargas-Hernández *et al.* 1993).

Existen dos corrientes en el área: la corriente principal y la corriente de la bocana del puerto. La corriente principal esta determinada por la dirección del viento, normalmente tiene dirección NO y la bocana del puerto se da cuando se presentan los vientos del norte, su dirección cambia hacia el SE (Salas-Pérez y Granados-Barba 2008), la corriente de la bocana del puerto no presenta una relación tan marcada con los vientos y varia solamente en proporción a la influencia de estos presentando un comportamiento de “abanico”, es decir de enero-marzo y julio-agosto la corriente proveniente de la bocana se dirige al SE y S, y en abril-junio y septiembre-diciembre se dirige al N-NO y NE (Zavala-Hidalgo *et al.* 2003).

En el siguiente diagrama se muestran brevemente los materiales y los métodos que se utilizaron para obtener las concentraciones de Cu, Cd y Pb contenidas en las macroalgas marinas y en la fanerógama marina *Thalassia testudinum* recolectadas en los arrecifes Anegada de Afuera, Cabezo, Chopas, Isla de Enmedio, La Blanca, Rizo, Santiaguillo que pertenecen al grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano.



2.3 Estrategia de muestreo

Para poder determinar el grado de contaminación por MP de la zona arrecifal del grupo sur del SAV se consideraron para el muestreo siete arrecifes: Anegada de Afuera, Cabezo, Chopas, Isla de Enmedio, La Blanca, Rizo, y Santiaguillo. De cada arrecife se recolectaron en el área de la planicie arrecifal especies algales pertenecientes a los grupos de Phaeophyta (Algas pardas), Chlorophyta (Algas verdes) y Rhodophyta (Algas rojas) y la macrófita *Thalassia testudinum*, ya que es una zona donde las comunidades de este pasto marino están plenamente desarrolladas y es una zona de fácil acceso para la recolecta de especies algales.

2.4 Recolección de muestras

La recolección de las muestras se llevó a cabo en los meses de julio (inicio de la temporada de lluvias) y septiembre (finales de la temporada de lluvias) del 2008. Esta fue de manera manual aproximadamente 100 g de macroalga y 100 g de las hojas de *Thalassia testudinum*. Solo se seleccionaron aquellas con apariencia saludable, así mismo fueron lavadas con agua del medio para eliminar al máximo posible material particulado previamente sedimentado sobre la muestra. Cada muestra se colocó en una bolsa de polietileno debidamente etiquetada (arrecife, nombre del colector y fecha). Las muestras se congelaron con hielo en un contenedor hermético para evitar su descomposición y se trasladaron al Laboratorio de Biogeoquímica de la UBIPRO en la FES Iztacala de la UNAM, donde fueron colocadas en un congelador a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ para su posterior tratamiento. Las especies colectadas en los diferentes arrecifes se identificaron con las claves de Littler *et al.* 1989 y Littler y Littler 2000.

2.5 Procesamiento de muestras

Todo el material de laboratorio utilizado se lavó con agua deionizada (AD) el material de plástico se colocó en HNO_3 al 10% y la cristalería en HCl al 10% durante 48hrs, posteriormente se enjuagó con AD. Las muestras se descongelaron y se limpiaron cuidadosamente con ayuda de una piseta con AD hasta eliminar completamente cualquier residuo de sedimento, otras algas epifitas y organismos. Después se secaron en un horno a $60 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 48hrs. Cada una de las muestras

secas se maceró en un mortero de ágata para obtener un polvo fino (macerado de algas o *Thalassia testudinum*) el cual se colocó en un frasco de polipropileno con tapa y se etiquetó correctamente (arrecife, número de muestra del arrecife, fecha de muestreo y especie). Cada muestra se sometió a una técnica de lavado para eliminar posibles contaminantes: se tomaron como 2 g del polvo y se agregó 30 ml de HNO₃ 0.5% luego se agitó a 120 rpm durante 30 minutos, después se centrifugó a 4,000 rpm durante 15 minutos en una centrifuga Avanti J-25I Beckman y se retiró el sobrenadante (el resto del HNO₃) después se agregaron 30 ml de AD y se agitó en el agitador orbital a 120 rpm durante 15 minutos, terminado esto se pasó a centrifugar a 4,000 rpm durante 15 minutos y después retiró el sobrenadante, este lavado se repitió dos veces más pero con AD dando un total de tres lavados con AD y finalmente se dejó sin agua, una vez terminando el último lavado las muestras se sometieron a 60± 5 °C en un horno durante 48 horas. Una vez seca la muestra se colocó en un frasco de polietileno con tapa debidamente etiquetado con los datos antes ya mencionados.

2.6 Digestión química

La digestión de muestras se llevó a cabo en un horno de microondas CEM MDS 2100 del Laboratorio de Biogeoquímica de la UBIPRO. Se colocó 0.5 g de muestra en una cubeta de digestión añadiendo 10ml de HNO₃ concentrado y 1ml HF concentrado. La digestión química se hizo para dejar los elementos metálicos libres de todo posible enlace y así fueran determinables en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Se utilizó el siguiente programa de tiempos, temperatura y presión a cada muestra para la digestión que se modificó del programa del manual del equipo:

Tabla 1.
Programa de digestión del horno de microondas para muestras de algas y *Thalassia testudinum*.

Condiciones/Fase	Etapa1	Etapa2	Etapa3
Poder (%)	40	40	40
Presión (PSI)	40	85	150
Rampa (minutos)	6	6	10
Tiempo de etapa (minutos)	5	5	10
Velocidad del Ventilador	100	100	100

PSI = libras de presión a las que se somete la muestra.

Rampa = es el tiempo en el que incrementa la presión.

Tiempo = es el tiempo en que se mantiene constante la presión requerida

Una vez digerida la muestra se aforó a 25 g con HNO₃ 2%, procurando no haber dejado ningún residuo en el vaso de digestión. Las muestras se trasladaron a un frasco de polipropileno con tapa debidamente etiquetado y se cerró inmediatamente preservándose hasta el análisis instrumental.

2.7 Análisis instrumental

Las muestras se analizaron utilizando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA) Varian SpectrAA 880, acoplado a un atomizador electrotérmico (Varian GTA 100) Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (GFAAS), basándose en el manual (Varian 1989). Se empleó una lámpara de cátodo hueco para cada uno de los elementos (Cu, Pb y Cd) y también se realizó una curva de calibración utilizando soluciones estándar elaboradas a partir de una solución patrón sigma de 1000 ppm de cada metal, y finalmente se realizó una lectura de absorbancia de la solución estándar y su valor represento el 100%.

2.8 Procesamiento de datos

Se realizó el cálculo para obtener los valores en $\mu\text{g/g}$ para Cu y ng/g para Pb y Cd de peso seco, utilizando los valores: peso seco de la muestra, el volumen final de ésta y los resultados de la lectura del EAA para cada muestra.

Para detectar diferencias significativas entre los valores de MP en las algas con respecto a la época de muestreo de julio y septiembre se realizó una Prueba de t de Student, mientras que para determinar diferencias significativas para Cu, Cd y Pb contenidos en las algas entre los siete arrecifes y también para las divisiones algales se realizó un análisis de varianza para datos no paramétricos sin distribución normal, para esto se aplicó una Prueba de Kruskal-Wallis.

3.- RESULTADOS

La recolecta de las muestras en los diferentes arrecifes fue por medio de un muestreo dirigido, se recolectaron todas las macroalgas encontradas en los arrecifes obteniendo un total de 11 géneros (*Caulerpa*, *Chaetomorpha*, *Dictyosphaeria*, *Enteromorpha*, *Halimeda*, *Rhipocephalus*, *Dictyota*, *Padina*, *Galaxaura*, *Hypnea* y *Laurencia*), cabe mencionar que no todos los géneros algales y muestras de *Thalassia testudinum* se encontraron en los 7 arrecifes del área de estudio. Tal es el caso del arrecife Santiaguillo en donde no se encontró muestra de *Thalassia testudinum*. En total se recolectaron 69 muestras que incluyen 63 muestras de macroalgas y 6 muestras de la macrófita *Thalassia testudinum* para el análisis de los MP evaluados (Tabla 2).

Tabla 2.
Número de muestras de macroalgas y de *Thalassia testudinum* recolectadas en los arrecifes del grupo sur de SAV.

Arrecifes	Número de muestras recolectadas			
	Macroalgas		<i>Thalassia testudinum</i>	
	Julio	Septiembre	Julio	Septiembre
Anegada de Afuera	3	2	1	1
Cabezo	5	3	1	1
Chopas	6	2	1	1
La Blanca	2	3	1	1
Isla de Enmedio	6	8	1	1
Rizo	8	3	1	1
Santiaguillo	3	1	0	0
Total	33	22	6	6

Se recolectaron macroalgas pertenecientes a las divisiones de Rhodophyta, Phaeophyta y Chlorophyta por lo que se hace una breve descripción de cada una de ellas así como para la macrófita *Thalassia testudinum* (Anexo 1).

3.2 Cu

En la Tabla 3 se muestran en las concentraciones de Cu determinadas en cada una de las muestras de macroalgas y de las hojas de *Thalassia testudinum* para ambos muestreos (julio y septiembre) en los 7 arrecifes del grupo sur del SAV, así como también el promedio en cada arrecife y el total.

En el mes de Julio la mayor concentración promedio de Cu obtenida en macroalgas de los 7 arrecifes fue de 3.2 $\mu\text{g/g}$ en los arrecifes Santiaguillo y Chopas, mientras que la menor concentración se presentó en Isla de Enmedio con 1.8 $\mu\text{g/g}$, teniendo un promedio total de Cu de 2.5 $\mu\text{g/g}$. En cuanto al contenido de Cu en las hojas de *Thalassia testudinum* se tiene que el arrecife que presentó mayores concentraciones es La Blanca con 3.3 $\mu\text{g/g}$, mientras que Chopas presenta la menor concentración con 0.6 $\mu\text{g/g}$, teniendo un promedio total de 2.2 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 3). De la presencia de Cu en macroalgas, en el mes de Septiembre en los siete diferentes arrecifes se tiene que en el Cu se presenta su valor más alto en Chopas con 4.2 $\mu\text{g/g}$ mientras que en Anegada Afuera presentó menor concentración con 0.85 $\mu\text{g/g}$, con un promedio total de 2.3 $\mu\text{g/g}$, mientras que en *Thalassia testudinum* la mayor concentración fue para Cabezo con 3.1 $\mu\text{g/g}$ y la menor fue de Chopas con 1.6 $\mu\text{g/g}$, con un promedio total de 2 $\mu\text{g/g}$ (Figura 2).

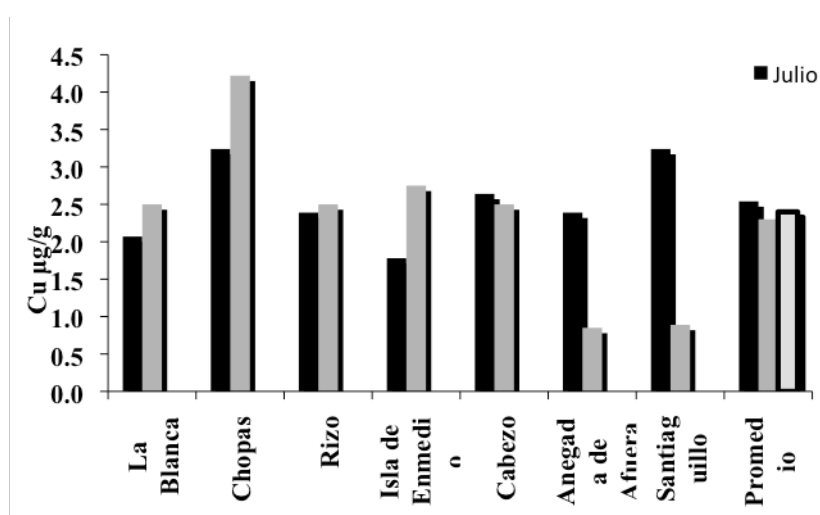


Figura 2. Concentración promedio de Cu ($\mu\text{g/g}$) en macroalgas para ambos muestreos en el grupo sur del SAV.

Para comprobar si existían diferencias significativas entre las divisiones algales ocupadas en el presente estudio como son las Rhodophyta, Phaeophyta y Chlorophyta se utilizó el análisis estadístico de Kruskal-Wallis. El análisis arrojó que en Cu ($H^*=9.9$ con $\chi^2_{0.05, 2}= 5.99$) no hubo diferencias significativas para las tres divisiones algales ya mencionadas. Con respecto a la comparación entre el mes de julio con el de septiembre se realizó una prueba de t-Student y se encontró que las concentraciones de Cu en algas ($t_0=0.12$ con $t_{0.05, 45}= 2.021$) no presentaron diferencias significativas. Mientras que para la comparación entre las concentraciones de MP que presentaron los siete arrecifes del grupo sur del SAV para los meses de julio y de septiembre se realizó el análisis estadístico de Kruskal-Wallis. De acuerdo con el análisis para el mes de julio se obtuvo que en Cu ($H^*=6.77$ con $\chi^2_{0.05, 6}= 12.59$) no hubo diferencias significativas entre los arrecifes, y para el mes de septiembre (Cu $H^*=5.23$ con $\chi^2_{0.05, 6}= 12.59$) tampoco hubo diferencias significativas.

Tabla 3.
Concentración de Cu ($\mu\text{g/g}$) para los meses de julio y septiembre en macroalgas y *Thalassia testudinum* pertenecientes al grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano.

Arrecife	Cu $\mu\text{g/g}$																											
	C ₁		C ₂		C ₃		C ₄		C ₅		C ₆		P ₁		P ₂		R ₁		R ₂		R ₃		Tt		x ₁		x ₂	
	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S
Anegada de Afuera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	3.2	-	-	-	2	0.9	1.9	-	-	-	1.7	1.7	2.4 ±0.7	0.85	1.8	
Cabezo	1.9	-	2.6	-	0	-	-	-	3.6	1.1	-	-	-	3.9	-	-	2.4	-	-	-	-	-	1.7	3.1	2.6 ±0.7	2.5	2.2	
Chopas	3.7	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	-	-	4.4	-	-	-	2.8	2.3	-	-	4.5	6	1.6	1.6	3.2 ±1.5	4.2	3.5	
Isla de Enmedio	2.1	1.3	-	-	-	-	-	-	0.7	0.8	1.5	2.3	1.9	-	-	-	2.7	2.8	-	-	-	6.5	3.1	1.7	1.8 ±0.7	2.7 ±2.2	2.3	
La Blanca	-	2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	1.4	-	-	2.7	3.7	-	-	-	-	3.3	1.9	2	2.5 ±1.2	2.3	
Rizo	1.1	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-	-	-	4.5	4.3	2.7	-	1.9	2.8	-	-	3.5	0.5	2.8	1.8	2.4 ±1.4	2.5 ±1.9	2.2	
Santiagoillo	-	-	-	-	-	-	4.1	-	2.7	0.9	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2 ±0.8	0.9	2.12	
x_t																							2.4 ±0.8	2 ±0.6	2.5 ±0.55	2.3 ±1.1	2.4	

J = Julio, S = Septiembre; C= Chlorophyta; P= Phaeophyta; R= Rhodophyta; C₁ = *Caulerpa*, C₂ = *Chaetomorpha*, C₃ = *Dictyosphaeria*, C₄ = *Enteromorpha*, C₅ = *Halimeda*, C₆ = *Rhipocephalus*; P₁ = *Dictyota*, P₂ = *Padina*; R₁ = *Galaxaura*, R₂ = *Hypnea*, R₃ = *Laurencia*. Tt = *Thalassia testudinum*. X₁ = Promedio de los meses de muestreo, X₂ = Promedio por arrecife, X_t = Promedio total.

3.3 Pb

En la Tabla 4 se muestran las concentraciones de Pb determinadas en cada una de las muestras de algas para ambos muestreos (julio y septiembre) en los 7 arrecifes del grupo sur del SAV, así como también el promedio para cada arrecife y el total.

De la presencia de Pb en macroalgas durante el mes de Julio se obtuvo su nivel más alto en el arrecife La Blanca con 719.7 ng/g y el que presentó la menor concentración fue Chopas con 66 ng/g, siendo el promedio total de 301 ng/g. En la hoja de *Thalassia testudinum* se encontró que la mayor concentración de Pb fue en el arrecife Isla de Enmedio con un valor de 206.1 ng/g, y la menor se obtuvo en el arrecife La Blanca 21.8 ng/g, mientras que en Anegada de Afuera fue no detectable, teniendo un promedio total de 115.3 ng/g. Para el mes de Septiembre en macroalgas se tiene que presentó la mayor concentración en el arrecife Anegada de Afuera con 210.4 ng/g, mientras que para el arrecife Santiaguillo la concentración fue de 4 ng/g, presentando un promedio total de 83.5 ng/g; y para *Thalassia testudinum* en el arrecife Anegada de Afuera presentó una mayor concentración de Pb con 324.8 ng/g, mientras que en Chopas fue no detectable, presentando un promedio total de 100 ng/g (Figura 3).

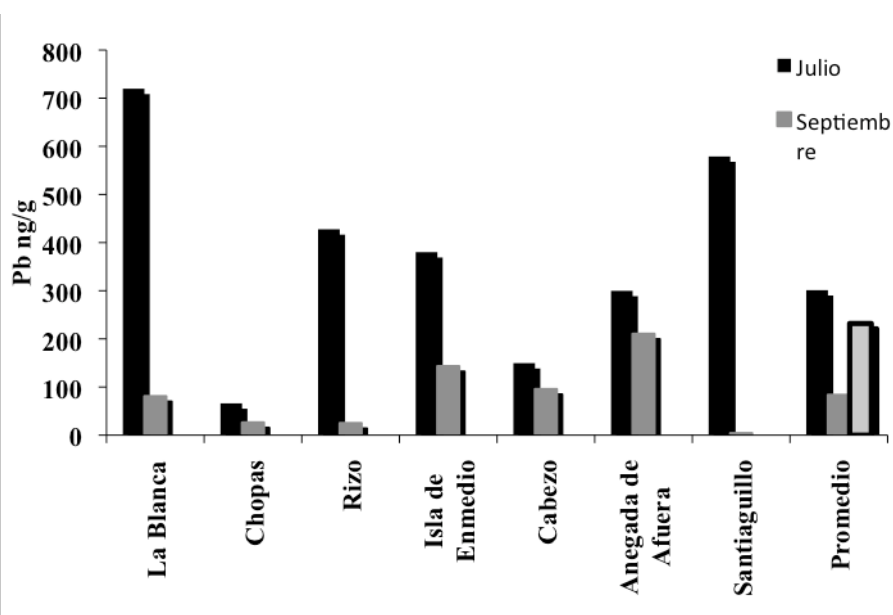


Figura 3. Concentración promedio de Pb (ng/g) en macroalgas para ambos muestreo en el grupo sur del SAV.

Para comprobar si las concentraciones de Pb entre las divisiones algales como son las Rhodophyta, Phaeophyta y Chlorophyta tuvieron diferencias significativas se utilizó el análisis estadístico de Kruskal-Wallis. El análisis arrojó que (Pb $H^*=4.95$ con $\chi^2_{0.05, 2}= 5.99$) no hubo diferencias significativas para dichas divisiones algales ya mencionadas. También se utilizó la prueba de t de Student para la comparación entre el mes de julio con el de septiembre y se encontró que las concentraciones de Pb si presentaron diferencias significativas ($t_0=2.58$, $t_{0.05, 34}=2.042$). Para la comparación entre sus concentraciones que presentaron los siete arrecifes del grupo sur del SAV para los meses de julio y de septiembre se realizó el análisis estadístico de Kruskal-Wallis. De acuerdo con el análisis para el mes de julio el Pb ($H^*=9.15$ con $\chi^2_{0.05, 6}= 12.59$) no presentó diferencias significativas entre los arrecifes. Para el mes de septiembre se eliminaron los valores de Anegada de Afuera, Chopas y Santiaguillo ya que en el análisis estadístico de Kruskal-Wallis solo se realiza cuando por lo menos hay un par de valores y en el caso de estos arrecifes solo se obtuvo un solo valor por lo que en Pb tampoco se obtuvo diferencias significativas ($H^*= 2.5415$ con $\chi^2_{0.05, 3}=7.81$).

Tabla 4.
Concentración de Pb (ng/g) para los meses de julio y septiembre en macroalgas y *Thalassia testudinum* pertenecientes al grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano.

Arrecife	Pb ng/g																												
	C ₁		C ₂		C ₃		C ₄		C ₅		C ₆		P ₁		P ₂		R ₁		R ₂		R ₃		Tt		x ₁		x ₂		
	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J
Anegada de Afuera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ND	-	-	361.4	-	-	-	16.2	210.4	522.3	-	-	ND	324.8	299.9 ±258.6	210.4	277.6			
Cabezo	52.3	-	59.6	-	ND	-	-	-	337.1	ND	-	-	-	95.5	-	-	ND	-	-	-	-	160.7	15.1	149.7 ±162.4	95.5	108.9			
Chopas	37.2	-	-	-	-	-	-	-	5.6	-	-	-	85.7	-	-	-	165.3	26.2	-	-	36.5	ND	83	ND	66 ±62.4	26.2	50.9		
Isla de Enmedio	85.9	554	-	-	-	-	-	-	ND	28.2	604.9	0.2	777.8	-	-	-	52.4	39	-	-	-	94.2	206.1	56.7	380.3 ±366.3	143.1 ±232.2	319.5		
La Blanca	-	183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	719.7	30.2	-	-	ND	49.6	-	-	-	-	21.8	42.5	719.7	80.7 ±90.9	245.6		
Rizo	ND	-	-	-	-	-	-	-	ND	-	-	-	447.5	37	498	-	ND	ND	-	-	ND	43.8	104.7	60.7	472.8 ±35.7	24.8	342.1		
Santiagoillo	-	-	-	-	-	-	947.5	-	ND	3.9	-	-	210.4	31.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	578.9 ±521.2	4	596.6		
x_t																							115.3 ±71	100 ±120.7	301 ±293.5	83.5 ±74	277.32 ±177.3		

J = Julio, S = Septiembre; C= Chlorophyta; P= Phaeophyta; R= Rhodophyta; C₁ = *Caulerpa*, C₂ = *Chaetomorpha*, C₃ = *Dictyosphaeria*, C₄ = *Enteromorpha*, C₅ = *Halimeda*, C₆ = *Rhipocephalus*; P₁ = *Dictyota*, P₂ = *Padina*; R₁ = *Galaxaura*, R₂ = *Hypnea*, R₃ = *Laurencia*. Tt = *Thalassia testudinum*. X₁ = Promedio de los meses de muestreo, X₂ = Promedio por arrecife, X_t = Promedio total; ND = No detectable.

3.4 Cd

En la Tabla 5 se muestran las concentraciones de Cd determinadas en cada una de las muestras de algas para ambos muestreos (julio y septiembre) en los 7 arrecifes del grupo sur del SAV, así como también el promedio en cada arrecife y el total.

El contenido de Cd en macroalgas en el mes de Julio la concentración más elevada se halló en el arrecife Anegada de Afuera con 31.9 ng/g y la mínima en Isla de Enmedio con 8.1 ng/g teniendo un promedio total de 20.2 ng/g. En el contenido de Cd en hojas de *Thalassia testudinum* se presentó más elevado en Isla de Enmedio con 42.4ng/g, mientras que para los demás los valores fueron menores de 19.5 ng/g presentando un promedio total de 17.4 ng/g. En el mes de septiembre la mayor concentración se obtuvo en Cabezo con 17.6 ng/g y la mínima la presenta Anegada de Afuera con 3.6 ng/g y en *Thalassia testudinum* el valor más alto lo presentó el arrecife Cabezo con 53.2 ng/g y el resto de los arrecifes se encontraron por debajo de los 14.2 ng/g con un promedio total de 17.5 ng/g (Figura 4).

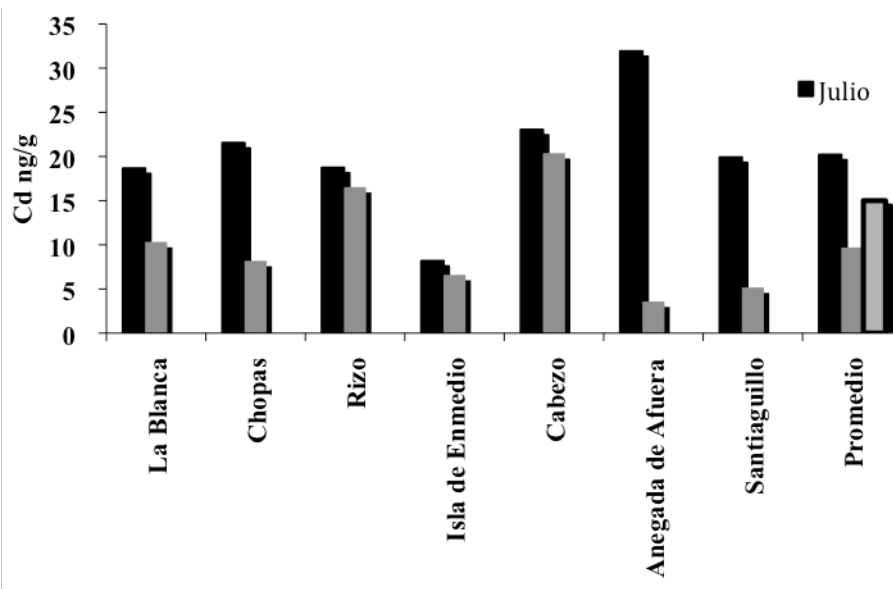


Figura 4. Concentración promedio de Cd (ng/g) en macroalgas para ambos muestreo en el grupo sur del SAV.

Para comprobar si existía diferencias significativas entre las divisiones algales: Rhodophyta, Phaeophyta y Chlorophyta, se utilizó el análisis estadístico de Kruskal-Wallis. Se obtuvo que sus concentraciones en dicho metal si presentaron diferencias significativas ($H^*=10.70$, con $\chi^2_{0.05, 2}= 5.99$) y el grupo que difirió con los otros dos fue Rhodophyta, es decir que este almacenó menos Cd que Phaeophyta y Chlorophyta. En la comparación entre el meses de julio y de septiembre se utilizó la prueba de t-Student y se encontró que sus concentraciones en algas ($Cd\ t_0=1.77$, $t_{0.05, 42}=2.021$) no presentaron diferencias significativas. Mientras que en la comparación entre las concentraciones de Cd que hubo en los siete arrecifes del grupo sur del SAV para los meses de julio y de septiembre se realizó el análisis estadístico de Kruskal-Wallis. De acuerdo con dicho análisis para el mes de julio se tiene que no presento diferencias significativas ($Cd\ H^*=4.23$, con $\chi^2_{0.05, 6}= 12.59$) entre los arrecifes. En el mes de septiembre se tuvo que ($H^*=2.89$, con $\chi^2_{0.05, 6}= 12.59$) tampoco se encontró diferencias significativas.

Tabla 5.
Concentración de Cd (ng/g) para los meses de julio y septiembre en macroalgas y *Thalassia testudinum* pertenecientes al grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano.

Arrecife	Cd ng/g																												
	C ₁		C ₂		C ₃		C ₄		C ₅		C ₆		P ₁		P ₂		R ₁		R ₂		R ₃		Tt		x ₁		x ₂		
	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	J	S	
Anegada de Afuera		-	-	-	-	-	-	-	-	ND	-	-	56.5	-	-	-	7.4	3.6	ND	-	-	-	18.5	9.4	31.9 ±34.7	3.6	16.9		
Cabezo	29.3	-	26.3	-	ND	-	-	-	13.5	3	-	-	-	32.2	-	-	22.9	-	-	-	-	-	19.5	53.2	23 ±3.2	17.6	18.2		
Chopas	42.9	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-	-	-	34	-	-	-	5.9	6.4	-	-	18	9.9	4.7	14.2	21.5 ±18.2	8.2	15.5		
Isla de Enmedio	13.7	553.9	-	-	-	-	-	-	3.2	0.6	6.9	8.9	7	-	-	-	10.1	6.7	-	-	-	ND	42.4	5.8	8.1 ±3.2	6.6 ±2.35	76.4		
La Blanca	-	183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30.2	7.2	-	-	7	1	-	-	-	-	9.5	11	18.6	10.3 ±6.4	46.7		
Rizo	17.8	-	-	-	-	-	-	-	15.1	-	-	-	37	45.4	6.5	-	6.8	3.1	-	-	ND	1.2	9.9	11.3	18.8 ±13.7	16.6 ±24.9	14.8		
Santiaguillo	-	-	-	-	-	-	8.5	-	ND	5.2	-	-	31.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.9 ±16.2	5.2	11		
x_t																							17.4 ±13.5	17.5 ±17.7	20.2 ±7	9.7 ±5.5	15		

J = Julio, S = Septiembre; C= Chlorophyta; P= Phaeophyta; R= Rhodophyta; C₁ = *Caulerpa*, C₂ = *Chaetomorpha*, C₃ = *Dictyosphaeria*, C₄ = *Enteromorpha*, C₅ = *Halimeda*, C₆ = *Rhipocephalus*; P₁ = *Dictyota*, P₂ = *Padina*; R₁ = *Galaxaura*, R₂ = *Hypnea*, R₃ = *Laurencia*. Tt = *Thalassia testudinum*. X₁ = Promedio de los meses de muestreo, . X₂ = Promedio por arrecife, . X_t = Promedio total; ND = No detectable.

Las concentraciones por elemento en macroalgas y en *Thalassia testudinum* en los meses de muestreo que corresponden a julio y septiembre, son diferentes, lo que implica que existen metales que tienden a presentarse en mayores concentraciones que otros, siendo el orden jerarquizado de concentración el siguiente:

$$\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$$

4.- DISCUSIÓN

En diversos estudios sobre contaminación por metales pesados en el ambiente marino, el uso de macroalgas y *Thalassia testudinum* como bioindicadores ha sido la mejor opción en cuanto a la información sobre la biodisponibilidad de un contaminante (Villares 2001, Buo-Olayan y Subrahmanyam 1996, Kruk-Dowgiallo y Pempkowiak 1997), reflejando las concentraciones de MP disueltos en el agua circundante (Rainbow 1995, Leal *et al.* 1997). La captación de estos productores primarios puede dar como consecuencia la acumulación de metales pesados en altos niveles tróficos de la cadena trófica (Haynes 2000).

El almacenamiento de metales pesados por organismos es energéticamente dependiente del transporte y de la adsorción a su pared celular. La adsorción en las algas es a través de la interacción con grupos químicos funcionales en la pared celular. Estos grupos funcionales incluyen a los hidróxidos (-OH), aminos (-NH₂), carboxilos (-COOH), sulfhídricos (-SH) y grupos tioles (Rai *et al.* 1981). Se ha reportado que esta captación también depende de su tasa de crecimiento, tanto para las microalgas y para *Thalassia testudinum*, (Haritonidis y Malea 1995, Solís 2008).

4.2 Comparación con otros estudios para las concentraciones de MP en los arrecifes del grupo sur del SAV

Macroalgas

Las concentraciones de Cu, Pb y Cd encontradas en este estudio se compararon con lo registrado en otras áreas arrecifales y no arrecifales, cerca de zonas urbanas o lejos de la costa así como con o sin influencia de ríos y puertos, para poder así proporcionar un buen punto de comparación de los datos obtenidos en el presente estudio (Tabla 6), cabe mencionar que en algunos trabajos se tuvo que sacar el promedio de sus valores que encontraron ya que al igual nosotros ocupamos un promedio en general para poder determinar si la zona esta contaminada por MP. Sin embargo también se compararon las concentraciones promedio de cada MP de uno de los géneros de macroalgas muestreadas con respecto a otros valores registrados para otras áreas (Tablas 7, 8 y 9).

Las concentraciones promedio de todas las macroalgas analizadas en los siete arrecifes del grupo sur del SAV se compararon con lo reportado por Denton y Burdon-Jones (1986), quienes examinaron en la Gran Barrera Arrecifal las concentraciones de MP en 48 especies de macroalgas de una zona registrada con un nivel bajo de contaminación y con poca influencia antropogénica, sus concentraciones de Cu (1.8 a 3.0 $\mu\text{g/g}$) son similares a las encontradas en este estudio, ya que se encuentran dentro de su intervalo. Mientras los valores que obtuvieron de Pb (2.9 a 0.70 $\mu\text{g/g}$) y de Cd (0.80 a 0.31 $\mu\text{g/g}$) son más elevados que los valores encontrados en el grupo sur del SAV (Tabla 6). De la misma manera se ve con los estudios realizados por Phillips (1991) en el Mar Egeo Grecia y Dolgushina *et al.* (1995) en las Islas de Seychelles (área arrecifal) ambas zonas poco influenciadas y poco contaminadas donde las concentraciones encontradas se ven dentro del intervalo para Cu y para Cd y Pb son elevadas a comparación de las halladas en este estudio (2.4 $\mu\text{g/g}$ de Cu, 0.0232 $\mu\text{g/g}$ de Pb y 0.015 $\mu\text{g/g}$ de Cd). En cuanto a la comparación con algunos trabajos que se han realizado para áreas contaminadas se tiene el estudio de Seelinger y Edwards (1977) para un área cerca de una zona urbana en la Bahía Raritan adyacente a Nueva York así como las concentraciones elementales obtenidas por Leal *et al.* (1997) fueron mayores para Cu, Pb y Cd a diferencia de las encontradas en este estudio. Mientras que los valores registrados por Arne *et al.* (1974) y Topcuoglu *et al.* (2004) encontraron mayores concentraciones de Cu (8.3-164 $\mu\text{g/g}$), y para los otros metales como Pb y Cd sus valores aunque son un poco elevados a los de este estudio ellos reportan a las zonas contaminadas por cobre.

Tabla 6.
Concentración de metales pesados ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) en algas de otras regiones del planeta y estudios previos en el SAV

Especie	Cu $\mu\text{g/g}$	Pb $\mu\text{g/g}$	Cd $\mu\text{g/g}$	Sitio	Referencia
<i>Ascophyllum nodosum</i>	39	<3	<0.7	Noruega Thundhrimsfjord	Arne-Haug <i>et al.</i> 1974
<i>Enteromorpha linza</i>	0.7	3.3	*	Bahía Raritan, Nueva York	Seelinger <i>et al.</i> 1977
<i>Dictyosphaeria versluysii</i>	1.8	<0.70	0.31		
<i>Caulerpa brachypus</i>	2.8	<2.9	0.4		
<i>Galaxaura sp.</i>	2.7	2.2	0.8	Gran Barrera Arrecifal	Denton y Burdon-Jones 1986
<i>Hypnea pannosa</i>	1.8	<0.68	0.38		
<i>Laurencia spp.</i>	1.7	<0.86	0.23		
<i>Padina australis</i>	3	5	0.41		
<i>Dictyota divaricata</i>	3	2.9	0.36		
<i>Padina lividus</i>	4	*	2.4	Mar Egeo, Grecia	Phillips 1991
<i>Enteromorpha spp.</i>	11.7	4.2	<0.6	Costa de Oporto, Portugal	Leal <i>et al.</i> 1997
<i>Porphyra spp.</i>	10.3	2.2	<0.5		
<i>Caulerpa taxifolia</i>	J 2.6 O 2	J 5.8 O 0.8	J 0.038 O 0.059	Norte-Mediterraneo Occidental	Gnassia-Barelli <i>et al.</i> 1995
<i>Halimeda micronesica</i>	5.4	<2	0.6	Islas de Seychelles	Dolgushina <i>et al.</i> 1995
<i>Dictyota volúbilis</i>	20.3	39.2	24.2	Grupo norte del SAV	Tovar 2000
<i>Ceritium crinale</i>	31	38.9	0.65		
<i>Padina pavonica</i>	12.2	9	1.5	Isla de Favignana, Mar mediterraneo (Italia)	Campanella <i>et al.</i> 2001
<i>Dichtyota guineensis</i>	20.3	39.2	24.2	Grupo norte del SAV	Acosta 2002
<i>Cystoseira barbata</i>	164.3	<0.1	<0.2	Mar Marmara, Turquía	Topcuoglu <i>et al.</i> 2004
<i>Halimeda opuntia</i>	*	58.4	*	Grupo norte del SAV	Morlán-Cahue y Opengo-Piña 2005
<i>Halimeda discoidea</i>	*	72.9	*		
Julio	2.5	0.301	0.0202	Grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano	Este estudio
Septiembre	2.3	0.0835	0.0097		
Total	2.4	0.232	0.015		

J = Julio O = Octubre * = no determinado

En lo que respecta a la comparación de los valores promedio para cada uno género de macroalgas del presente estudio con lo reportado anteriormente fue evidente que los valores obtenidos en este estudio para Cu son similares o inferiores a lo registrado en otros sitios, mientras para los metales Pb y Cd son menores en todo los casos.

Tabla 7.
Concentración de Cu ($\mu\text{g/g}$) en géneros algales de otras regiones del planeta y estudios previos en el SAV

Género	Sitio					Este estudio
	Gran Barrera Arrecifal (1)	Bahía Magdalena B.C.S. México (2)	Costa de Turquía, Mar Negro (3)	Grupo norte del SAV (4)	Islas Seychelles (5)	Cu $\mu\text{g/g}$
<i>Caulerpa</i>	2.8	1.8				2.1
<i>Chaetomorpha</i>			3.4			2.6
<i>Dictyosphaeria</i>	1.8					0
<i>Enteromorpha</i>			2.6			4.1
<i>Halimeda</i>					3	1.1
<i>Rhiphocephalus</i>						1.9
<i>Dictyota</i>	3			20.3		3.1
<i>Padina</i>	3					2.7
<i>Galaxaura</i>	2.7					2.7
<i>Hypnea</i>	1.8	2.1				1.9
<i>Laurencia</i>	1.7	2.3				4.2

(1): Denton y Burdon-Jones 1986; (2): Riosmena-Rodríguez *et al.* 2009;
(3): Topcuoglu *et al.* 2003; (4): Acosta 2002; (5): Dolgushina *et al.* 1995.

Tabla 8.
Concentración de Pb ($\mu\text{g/g}$) en géneros algales de otras regiones del planeta y estudios previos en el SAV

Género	Sitio					Este estudio
	Gran Barrera Arrecifal (1)	Bahía Magdalena B.C.S. México (2)	Costa de Turquía, Mar Negro (3)	Grupo norte del SAV (4)	Islas Seychelles (5)	Pb $\mu\text{g/g}$
<i>Caulerpa</i>	2.9	0.4				0.1825
<i>Chaetomorpha</i>			2.1			0.0596
<i>Dictyosphaeria</i>	0.7					ND
<i>Enteromorpha</i>			9.1			0.9475
<i>Halimeda</i>				58.4	2.5	0.0937
<i>Rhiphocephalus</i>						0.3026
<i>Dictyota</i>	2.9					0.2797
<i>Padina</i>	5			24.2		0.498
<i>Galaxaura</i>	2.2					0.0799
<i>Hypnea</i>	0.7	4.3				0.5223
<i>Laurencia</i>	0.9	0.8				0.0582

(1): Denton y Burdon-Jones 1986; (2): Riosmena-Rodríguez *et al.* 2009;
(3): Topcuoglu *et al.* 2003; (4): Acosta 2002; (5): Dolgushina *et al.* 1995.

Tabla 9.
Concentración de Cd ($\mu\text{g/g}$) en géneros algales de otras regiones del planeta y estudios previos en el SAV

Género	Sitio					Este estudio Cd $\mu\text{g/g}$
	Gran Barrera Arrecifal (1)	Bahía Magdalena B.C.S. México (2)	Costa de Turkia, Mar Negro (3)	Grupo norte del SAV (4)	Islas Seychelles (5)	
<i>Caulerpa</i>	0.4	2.3				0.1401
<i>Chaetomorpha</i>			0.03			0.0263
<i>Dictyosphaeria</i>	0.3					ND
<i>Enteromorpha</i>			0.06			0.0085
<i>Halimeda</i>					0.4	0.0068
<i>Rhiphocephalus</i>						0.0079
<i>Dictyota</i>	0.4			39.2		0.03121
<i>Padina</i>	0.4					0.0065
<i>Galaxaura</i>	0.8					0.0078
<i>Hypnea</i>	0.4	1.6				ND
<i>Laurencia</i>	0.2	3.8				0.0097

(1): Denton y Burdon-Jones 1986; (2): Riosmena-Rodríguez *et al.* 2009; (3): Topcuoglu *et al.* 2003; (4): Acosta 2002; (5): Dolgushina *et al.* 1995.

En lo que refiere a los estudios previos para el SAV de contaminación por MP usando macroalgas como bioindicadores los trabajos son escasos, contrastando los valores de Cu, Pb y Cd de este estudio en del grupo sur del SAV, los valores son inferiores a los encontrados en estudios previos en el norte del SAV (Tovar 2000, Acosta 2002 y Morlán-Cahue y Opengo-Piña 2005, Rivera 2006) (Tabla 6).

Los valores de concentración de Cu, Cd y Pb contenidos en macroalgas en el grupo sur del SAV del presente estudio son inferiores a los de otras regiones del mundo consideradas como contaminadas por estos metales, por lo que se puede decir que no el grupo sur del SAV no presenta problemas de contaminación.

Thalassia testudinum

Los pastos marinos (fanerógamas marinas) forman extensas praderas en los arrecifes sirviendo como hábitat para muchos animales, además de servir como filtros y estabilizadores de las aguas y sedimentos oceánicos (Dawes 1991). Se ha reportado

que *Thalassia testudinum* dependiendo de las condiciones ambientales, pueden obtener los nutrientes necesarios para su crecimiento así como metales pesados desde los sedimentos a través del rizoma y del agua circundante por las hojas (Thursby y Harlin 1982, Libes y Boudouresque 1987, Solís 2008).

Existen pocos estudios acerca de la concentración de MP en *Thalassia testudinum* en zonas arrecifales y principalmente para el SAV. En general las concentraciones encontradas para *Thalassia testudinum* en los arrecifes del grupo sur del SAV son bajas, siendo inferiores a las citadas por Nienhuis (1986) en siete especies diferentes de pastos marinos, concluyendo que las concentraciones de los MP son naturales en esta área arrecifal del Mar de Flores, Indonesia (Tabla 10). Esto también se corrobora con los resultados de Dolgushina *et al.* (1995) quien evaluó MP en *Thalassondendron ciliatum* en las Islas de Seychelles, obteniendo concentraciones bajas acordes a un área no contaminada. Lo mismo sucede con los estudios de Campanella *et al.* (2001) y Alfonso *et al.* (2008) en áreas no arrecifales cerca de la costa, y el estudio de Solís (2008) en una área arrecifal levemente influenciada por descarga de aguas contaminadas en las costas del Caribe Mexicano (Tabla 10).

En estudios previos sobre contaminación por metales pesados el grupo norte del SAV en los que respecta a *Thalassia testudinum* se tiene reportado por Tovar (2000) y Noriega (2001) altos niveles de concentración a diferencia de los encontrados en este estudio (Tabla 10), cabe mencionar que Noriega (2001) muestreo en arrecifes del grupo norte y solo uno del grupo sur del SAV que fue el arrecife Chopas, registrando niveles más bajos (Cu: 8.1 µg/g, Pb: 10.5 µg/g y Cd: 1.8 µg/g) en este arrecife a diferencia de los demás, esto él lo explica por su separación de la línea de la costa y por su distancia con el río Jamapa, sin embargo hay que mencionar que los arrecifes del grupo norte del SAV están cercanos a la ciudad y al puerto de Veracruz. En el presente estudio Chopas es uno de los arrecifes más cercanos a la costa y al río concentraciones bajas por los tres metales Cu, Cd y Pb a diferencia de los valores de los otros arrecifes muestreados en este estudio.

Tabla 10.
Concentración de metales pesados ($\mu\text{g/g}$ de pesos seco) hojas de pastos marinos en otros estudios y otras regiones

Especie	Cu $\mu\text{g/g}$	Pb $\mu\text{g/g}$	Cd $\mu\text{g/g}$	Sitio	Referencia
<i>Thalassia hemprichii</i>	7	2.8	0.57	Mar de Flores indonesia	Nienhuis 1986
<i>Thalassondendron ciliatum</i>	2.79	0.4	<2	Islas de Seychelles	Dolgushina 1995
<i>Posidonia oceanica</i>	15.6	10	2.5	Isla de Favignana Mar Mediterraneo Italia	Campanella <i>et al.</i> 2001
<i>Thalassia testudinum</i>	10.7	13.1	1	Grupo norte del SAV	Tovar 2000
<i>Thalassia testudinum</i>	14.2 \pm 6.22	7.3 \pm 6	3.1 \pm 4.2	Grupo norte del SAV	Noeriega 2001
<i>Thalassia testudinum</i>	18	ND	ND	Puerto Morelos	Solis 2007
<i>Thalassia testudinum</i>	4.5	---	---	Isla de Buche, Pertigalete e Isla Larga de Venezuela	Alfonso <i>et al.</i> 2008
Julio	2.2	0.1153	0.0174	Grupo sur del Sistema Arrecifal Veracruzano	Este estudio
Septiembre	2	0.1	0.0175		

---: No se determino **ND**: No detectable

Considerando que los niveles de concentración de MP encontrados en este estudio son inferiores a lo reportado previamente para el SAV, se puede llegar a suponer que durante los últimos años han disminuido las concentraciones de MP disueltos en los arrecifes del SAV y que probablemente se deba a que estén dando resultados las acciones como son las de protección y el control de aguas negras vertidas hacia el mar, entre otra medidas que se han estado implementando en el SAV para disminuir en cierta parte el impacto que generan las acciones antropogénicas sobre este ecosistema.

Cabe mencionar que las técnicas implementadas en los trabajos que se usaron para la comparación son parecidas a las de el presente estudio como son: la extracción de metales de las muestras con ácidos: clorhídrico, nítrico y fluorhídrico; digestión de la muestra en horno de microondas y el uso de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica principalmente horno de grafito para medir la concentraciones de metales, por lo que son útiles como punto de referencia para la comparación de los valores con los obtenidos en este estudio para el grupo sur del SAV.

4.3 Límites Máximos Permisibles para Cu, Cd y Pb

Aunque no existe un Límite Máximo Permisible (LMP) para la concentración de MP contenidos en macroalgas marinas y *Thalassia testudinum*, en México se tienen dos Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que establecen los LMP de Cu, Cd y Pb, una de ellas es la NOM-052-ECOL-1993 que establece las características de los residuos peligrosos en cualquier estado físico por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, venenosas, biológico-infecciosas que representan un peligro para el equilibrio ecológico y fija los LMP para los elementos que son altamente tóxicos para el ambiente considerando como un máximo de 1.0 mg/L para Cd y 5.0 mg/L para Pb. Otra es la NOM-001-ECOL-1996 establece los LMP para metales pesados presentes en aguas costeras, considerando como un máximo de 0.1/0.2 ppm para Cd, 4.0/6.0 ppm para Cu y 0.4/0.5 ppm para Pb, estos límites son un punto de referencia sobre lo que se considera contaminado. Las concentraciones de MP que establecen las normas oficiales ya mencionadas y la comparación de lo encontrado para el grupo sur del SAV con otros estudios, nos indica que es un área marina que no presenta problemas de contaminación por MP sin embargo no se puede descartar totalmente que a largo plazo exista un problema, ya que los valores están al límite para rebasar los LMP que establecen las NOM y segundo que los valores medidos en este estudio son superiores a los valores que Bryan y Humerstone (1973) reportan para agua oceánica: Cu (0.1 µg/l), Cd (0.02 µg/l) y Pb (0.001-0.014 µg/l).

Aunque en esta comparación no se está tomando en cuenta que las principales vías de entrada de los MP al medio acuático son: la vía atmosférica que se produce debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antropogénicos, la vía terrestre que es producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de terrenos contaminados, otras causas naturales y finalmente la vía directa, que es la entrada de los metales a consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales. Por lo tanto en el agua marina existen concentraciones naturales de MP pero si se le suma a esto el impacto de los aportes de MP por acciones antropogénicas es factible encontremos niveles altos en estas zonas costeras que los que hay naturalmente en aguas oceánicas.

4.4 Comparación en las concentraciones de Cu, Cd y Pb contenidas en los grupos Rhodophyta, Phaeophyta y Chlorophyta.

Al hacer una comparación de las concentraciones de los tres metales estudiados contenidos en macroalgas con respecto a las divisiones algales se encontró que solo el Cd presentó diferencias significativas (se utilizó el análisis estadístico de Kruskal-Wallis. ($H^*=10.70$, con $\chi^2_{0.05, 2}= 5.99$). Pues las concentraciones de Cd en el grupo de Rhodophyta fueron menores a diferencia de los niveles en Phaeophyta y Chlorophyta. Esto coincide con lo reportado en otros trabajos por Schlacher-Hoenlinger y Schlacher 1998 y Aly Mohammed *et al.* 2006, ellos mencionan en sus conclusiones que la cantidad de Cd almacenado en macroalgas marinas presentan diferencias con respecto a las divisiones algales ya mencionadas y se lo atribuyen a los mecanismos de adsorción de la pared celular de las algas. Denton y Burdon-Jones (1986) y Topcuoglu (2000) encontraron que las concentraciones de Cd en Rhodophyta fueron mayores significativamente con respecto a Phaeophyta y Chlorophyta, caso contrario a lo que se encontró en el presente estudio. Actualmente no está bien documentada la explicación del por qué de dichas diferencias, sin embargo en diversos trabajos se ha tratado de explicar esto atribuyéndolo a la dinámica del metal, la morfología de la macroalga, diferencias taxonómicas, mecanismos de almacenamiento y sitios de unión en la pared celular (Karez *et al.* 1994, Metian *et al.* 2008, Gorlenko 1981, Tropin 1995).

A pesar de todo lo mencionado anteriormente, no se puede relacionar directamente entre la acumulación del metal y las divisiones algales, ya que pueden ser diversos factores los responsables de este proceso de almacenamiento, existen trabajos que encuentran una relación directa (Schlacher-Hoenlinger y Schlacher 1998 y Aly Mohammed *et al.* 2006) y otros que no (Tropin 1995). Es recomendable que en estudios de este tipo se use una amplia variedad de macroalgas para un uso adecuado de estos como bioindicadores de contaminación ambiental (Veroy *et al.* 1980, Leal *et al.* 1997).

4.5 Variaciones en las concentraciones de Cu, Cd y Pb con respecto a los meses de muestreo.

En base a los resultados del presente estudio se encontró que las concentraciones de los metales Cu, Cd y Pb en macroalgas y en *Thalassia testudinum* fueron mayores en el mes de julio con respecto a lo encontrado para el mes de Septiembre, de los tres metales evaluados solo Pb presentó diferencias estadísticamente significativas (se utilizó la prueba de t de Student $t_o=2.58$, $t_{0.05, 34}=2.042$). Como se mencionó antes el uso de macroalgas y pastos marinos como bioindicadores es debido a que proporcionan información sobre la biodisponibilidad de contaminantes en el medio como es en este caso la de los MP en el agua de mar (Orduña-Rojas et al. 2006) a fin de evaluar los riesgos de la exposición a los organismos. Por lo tanto la disminución en la concentración de Cu, Cd y estadísticamente significativa en Pb en el mes de septiembre podría explicarse por una baja disponibilidad para las macroalgas y *Thalassia testudinum* de MP en columna de agua de los arrecifes del grupo sur del SAV.

Para poder entender el significado de estas variaciones es importante tener en cuenta que la disponibilidad de MP para los organismos, en este caso algas y *Thalassia testudinum*, depende de sus concentraciones disueltas en columna de agua, factores como parámetros físico-químicos determinan esto: pH, salinidad, temperatura, luz, partículas suspendidas y materia orgánica particulada y disuelta (Karez et al. 1994), siendo la materia orgánica disuelta (ej. carbono orgánico disuelto (DOC) y coloidal (COC)) una de las vías más importantes para el transporte y distribución de los metales, además de que aumenta la disponibilidad de los metales para los organismos, debido a la facilidad que tienen los metales para formar complejos con esta, y así tienden a fijarse en los tejidos de los organismos expuestos (González-Fierro et al. 1994, Lacerda et al. 1987, Campbell et al., 1997).

La mayoría de los sólidos en suspensión en el océano como los minerales arcillosos, oxihidróxidos de metales y Materia Orgánica Particulada (MOP), poseen una carga negativa neta que atraen electrostáticamente por sus superficies (proceso de adsorción) a los cationes metálicos (Libes 1992). Por lo que en este estado ya no son disponibles para macroalgas y *Thalassia testudinum* entre otros organismos ya que

puede precipitar la partícula o se incorpora con materiales biogénicos a este proceso se le denomina "la conspiración de partículas grandes" o "Scavenging", este proceso depende de: la naturaleza del elemento, la abundancia de materia orgánica, concentración de otros solutos y la profundidad del agua. Si la tasa de Scavenging es muy rápida causa en un área una relativa baja concentración de metales disueltos (Libes 1992). Por lo tanto para que exista una mayor cantidad de MP disueltos en columna de agua es necesario una alta concentración de materia orgánica disuelta que de materia orgánica particulada (Rosales-Hoz *et al.* 2005).

Libes (1992) menciona que los aportes de tipo fluvial contienen un alto porcentaje de carbono orgánico particulado y de metales disueltos y particulados estos dos últimos son movilizados durante el desgaste de la corteza basáltica y granítica. La descarga de la pluma fluvial del río Jamapa que esta definida como arenas y arcillas finas, este es el principal aporte terrígeno que tienen los arrecifes del grupo sur del SAV.

Las variaciones en las concentraciones de Pb en macroalgas concuerdan con Bryan y Hummerstone (1973) ellos mencionan que los factores estacionales controlan las concentraciones de metales en macroalgas incluyendo las de agua de mar, además de que varían enormemente sobre el tiempo por ejemplo con el ciclo de mareas y descargas de ríos (Rainbow 1995). Las fluctuaciones en las concentraciones de MP de acuerdo con la época del año han sido reportadas para verano y otoño donde existen marcadas diferencias en la precipitación (González-Fierro *et al.* 1994, Leal 1997, Solís 2008). Se ha reportado para Veracruz que cuando existe un valor alto de materia orgánica es en la época de lluvias (septiembre), ya que durante esta temporada el aporte del detrimento vegetal y animal es mayor (González-Fierro *et al.* 1994). González-Fierro *et al.* 1994 evaluaron las concentraciones de MP en la laguna de Sontecomapan, Veracruz encontrando que los valores disminuyeron en el mes de septiembre a comparación de julio. Algo similar encontraron Rosales-Hoz *et al.* (2005) en el río Coatzacoalcos, Veracruz pues las concentración de MP tanto disueltos como en sedimentos superficiales, mostraron los valores más altos en la época de sequía, ya que cuando existe un bajo coloidal en el sistema la disolución es mínima, estas variaciones reportadas coinciden con lo hallado en el presente estudio para el área.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio podemos interpretar que en el grupo sur del SAV en el mes de septiembre (final de época de lluvias) son mínimas las concentraciones de metales disueltos (Cu, Cd y Pb) a comparación del mes de julio (inicio de época de lluvias). Como en el mes de Septiembre existe un incremento en la pluma fluvial del río Jamapa (Salas-Pérez y Granados-Barba 2008) y el arrastre de sólidos en suspensión hacia los arrecifes provocando una disminución en la concentración de metales disueltos al menos significativamente para Pb se le puede atribuir posiblemente al proceso de Scavenging.

4.6 Comparación entre arrecifes

La distribución de los metales (Cu, Pb y Cd) en los siete diferentes arrecifes de grupo sur del SAV, no presentó diferencias en el muestreo del mes de septiembre, en el caso de Pb las concentraciones que presentó el arrecife Santiaguillo (3.97 ng/g) Anegada de Afuera (210.36 ng/g) (dos de los siete arrecifes más alejados de la costa) y Chopas (26.26ng/g) tuvieron que ser eliminados del análisis estadístico debido se necesita un par de valores por lo menos en cada tratamiento hablando estadísticamente, por lo que no representaban un valor estadísticamente significativo.

Como en el análisis estadístico de Kruskal-Wallis se observó que no hubo diferencias significativas en las concentraciones de los tres metales analizados en los siete arrecifes muestreados pudimos ver que el patrón de distribución de los MP es homogénea, es decir que los factores y/o los patrones de contaminación de por lo menos Cu Cd y Pb que impactan a los arrecifes del grupo sur del SAV son similares. Esto coincide con Morlán-Cahue y Opeño-Piña (2005) y Noriega (2001) que encontraron lo mismo en Pb para el SAV.

La homogeneidad de la distribución de estos metales en los siete arrecifes puede deberse a las corrientes oceánicas locales ya que son un medio de transporte de contaminantes para el SAV, además de que materia disuelta y particulada puede ser transportada por corrientes superficiales (Horta-Puga 2007). Existen dos principales corrientes en la zona: la corriente principal determinada por la acción del viento con dirección NO y su esta cambia en la época de “nortes” al SE, este proceso de mezcla podría inducir a la resuspensión de sedimentos que se han acumulado en los arrecifes

durante el verano, esto podría ocurrir justo cuando la estación de los ríos sus descargas son elevadas sobre el área (Salas-Pérez y Granados-Barba 2008). Y la llamada corriente de la “Bocana del puerto” no presenta relación marcada con los vientos, presenta un comportamiento de abanico, Zavala-Hidalgo *et al.* (2003) mencionan que las corrientes en Julio verano van de sur a norte y en Septiembre van de norte a sur.

En el grupo norte del SAV existe dragado estas operaciones exponen a los sedimentos anóxicos al aire ocasionando la oxidación de sulfuros y liberando metales como plomo, mercurio, cobalto, cadmio, zinc y cobre (Páez-Osuna *et al.* 1987, Manahan 2007) consecuencia de esto es que aumente sus concentraciones vía atmosférica y se refleje en altos niveles Pb (179.7 $\mu\text{g/g}$) en el agua de lluvia del puerto de Veracruz (Báez *et al.* 1980 y Albert y Badillo 1991). Páez-Osuna *et al.* (1987) mencionan que la concentración de Pb aumenta donde existen plantas de tratamiento, desechos industriales vertidos directamente a los ríos así como el dragado de puertos en canales de navegación, Rivera (2006) además encontró que los valores altos para este metal en el agua se presentan al noreste del SAV, tanto para fondo como para superficie, presentando concentraciones mayores cerca de la costa. También evaluó Pb en todo un año en el fondo y superficie así como en su desembocadura del río Jamapa, encontrando niveles muy bajos incluso en el mes de febrero los valores de Pb fueron no detectables, por lo que el menciona que el río no es un aporte de este metal a las aguas costeras, posiblemente el origen de este elemento sea la vía atmosférica. Báez *et al.* (1980) y Albert y Badillo (1991), encontraron niveles hasta de 179.7 $\mu\text{g/g}$ de Pb en agua de lluvia en el Puerto de Veracruz, por lo que se considera que el agua de lluvia es un vehículo importante de este metal al medio arrecifal (Luna-Bauza 1993).

En el caso de Cd su aporte al área de estudio podría ser el río Jamapa proveniente de descargas industriales y de desechos domésticos y mineros. En cuanto a Cu, este metal es esencial a diferencia de los dos anteriores, se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza. Actualmente se utiliza en la industria, la agricultura así como en usos domésticos; debido a su gran variedad de usos, es uno de los metales que se encuentra comúnmente contaminando los sistemas naturales.

Rivera (2006) menciona que para el SAV los valores de Cu mas altos se encontraron cerca a de la desembocadura del río Jamapa por lo que le atribuye a un origen fluvial, sin embargo como se pudo ver en este estudio, no es un factor condicionante para que los arrecifes cercanos a la costa presenten altas concentraciones de Cu, Pb y Cd (Figura 2, 3 y 4)

Es necesario señalar que el presente estudio arroja datos muy importantes en cuanto al grado de contaminación por MP en el grupo sur del SAV ya que demuestran que las concentraciones de Cu, Cd y Pb en macroalgas y en la macrófita *Thalassia testudinum* en realidad están reflejando las concentraciones disueltas de estos en el agua circundante que son biodisponibles. Sin lugar a duda la elaboración del presente estudio contribuye al conocimiento de la contaminación por MP que existe en ecosistemas de esta naturaleza, principalmente en los arrecifes del grupo sur del SAV ya que son escasos los trabajos en esta zona. Seria conveniente que se siguiera desarrollando estudios de este tipo en Sur del Golfo de México para poder desarrollar un buen programa de protección y manejo para combatir la contaminación por MP en el área.

5.- CONCLUSIONES

- Las concentraciones de Cu, Pb y Cd en macroalgas y *Thalassia testudinum* del grupo sur del SAV son por lo general menores a las concentraciones en especies para áreas contaminadas, por lo que los bajos valores de MP representan niveles bajos de MP disueltos.
- De acuerdo con los datos obtenidos en este trabajo, los arrecifes del grupo sur del SAV no presentan problemas de contaminación por MP ya que no rebasaron ningún Limite Máximo Permisible que establecen las Normas Oficiales Mexicanas.
- El metal que presentó mayor concentración en todas las muestras fue el Cu.
- Los metales que presentaron menor concentración en todas las muestras fueron el Pb y Cd.
- Las concentraciones de Cd en el grupo de las Rhodophyta fueron menores significativamente a las de Chlorophyta y Phaeophyta.
- El único metal que presento diferencia significativa entre los meses de muestreo de julio y septiembre fue el Pb.
- No se encontró ninguna diferencia significativa entre la concentración de Cu, Pb y Cd para los siete arrecifes del grupo sur del SAV por lo que presentan una distribución homogénea.

6.- BIBLIOGRAFIA

Acosta, G. G. 2002. Metales pesados en un sistema bentónico de dos arrecifes de coral de Veracruz, Veracruz. Tesis de Licenciatura de Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 55p

Albert, L. y F. Badillo. 1991. Environmental lead in México. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 117:1-48.

Alfonso, J.A., J. Azocar, J.J. La Brecque, B. García, D. Palacios, Z. Benzo. 2008. Trace metals in bivalves and seagrass collected from Venezuelan coastal sites. *Revista Biología Tropical*. 56(1):215-222.

Aly Mohammed, A. A., M. A. Abdallah, Aly Beltagy, E. Siam. 2006 Contents of heavy metals in marine algae from Egyptian Red Sea coast. *Toxicological and Environment Chemistry*. 88(1):9-22.

Arne, H., M. Sigurd, O. Sverre. 1974. Estimation of heavy metal pollution in two Norwegian Fjord areas by analysis of the brown alga *Ascophyllum nodosum*. *Environmental Pollution*. 7:179-192.

Baez, A., F. Gonzales-Solorio y R. Belmont, 1980. Determinación de plomo, cadmio y cromo en la precipitación pluvial de algunos lugares de la República Mexicana. *Medio Ambiente*.

Botello, A. V., 1983. Concentración de metales pesados en sedimentos recientes, hoja rizoma de *Thalassia testudinum*, de la laguna Términos Campeche.

Bryan, G.W. 1971. The effects of heavy metals on marine and estuarine organisms. *Proceedings of the Royal Society Londres (B)* 177: 389-410.

Bryan, G. W. y L. G. Hummerstone. 1973. Brown seaweed as an indicator of heavy metals in estuaries in south-west England. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 53-705-720.

Buo-Olayan, A. Subrahmanyam. 1996. Heavy metals in Marine Algae of the Kuwait Coast. *Bolletín Environmental Contamination & Toxicology* 57:816-823.

Campanella, L., M. E. Conti, F. Cubadda y C. Sucapane. 2001. Trace metals in seagrasses, algae and mollusks from an uncontaminated area in the Mediterranean. *Environmental Pollution* 111:117– 126.

Carricart-Ganivet, J. P. y G. J. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en México. en: Salazar-Vallejo, González (ed) *Biodiversidad Marina y Costera de México*. Com. Nal. Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México. 865p

- Cram, S., C. Ponce De León, P. Fernández, I. Sommer, H. Rivas, L. M. Morales. 2006. Assesment of trace elements and organic pollutants from a marine oil complex into the coral reef system of Cayo Arcas, México. *Environmental Monitoring and Assessment* 121:127-149.
- Dawes, C. J. 1991. *Botánica marina*. Edit. Limusa. México. 673p
- Denton, G. R. W. y C. Burdon-Jones. 1986. Trace Metals in Algae from the Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin*, 17(3): 98-107
- Díaz, M., V. Nava, L. Brizuela, E. Soto, C. Gutiérrez , M. Moctezuma y I. Acosta. 1996. Aislamiento de Hongos Resistes a Metales Pesados a Partir de Desechos Mineros y su Capacidad de Remoción de Iones Metálicos y Flúor en Solución. *Acta Instituto Nacional de Geoquímica*. 2: 253-257.
- Dolgushina, O., V. Maksimora y G. N. Saenko. 1995. Marine vegetation of Seychelles Islands and accumulation of trace metals. *Oceanology*. 35(2):226-231
- Echaniz, H. V. 1998. Determinación de los niveles de hidrocarburos en aguas. Sedimentos recientes y hojas de pasto marino *Thalassia testudinum*. (Koenig 1805) en tres islas arrecifales del Puerto de Veracruz. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autonoma de México. Facultad De Ciencias. 79pp.
- Esslemont, G. 2000. Heavy metals in seawater, marine sediments and corals from the Townsville section, Great Barrier Reef Marine Park, Queeanland. *Marine Chemistry* 71(3-4) 215-231.
- Garnham G, W., G. A. Codd y G. M. Gadd. 1992. Kinectics of uptake and intracellular location of cobalt, manganese and zinc in the estuarine green alga *Chlorella salina*. *Applied Microbiology Biotechnology*. 37: 270-276.
- García, E. 1964. Modificaciones al Sistema de Clasification climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios S.A., México D.F., 71pp.
- Gnassia-Bareli, M., R. Lemmef, D. Pesaando y M. Romeo. 1995. Metal distribucion in *Caulerpa taxifolia* from the North-Western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*. 30(11): 749-755.
- González-Fierro, A., A. Vázquez-Botello, S. Villanueva-Fragoso, G. Ponce-Vélez. 1994. Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna Sontecomapan, Veracruz, México. *Hidrobiológica*. 4(1-2): 35-43.
- Gorlenko, M. V. 1981. *Course of Higher Plants*. Vysshaya Shkola, Moscow. 504 pp.
- Guen, C. K., N. Saygi, B. Oztuturk. 1993. Survey of metal contents of Bosphurus algae, *Zostera marina* and sediments. *Botánica Marina*. 36(3):175-178.

Guzmán, H. M., C. E. Jimenez. 1992. Contamination of coral reefs by heavy metals along the Caribbean coast of Central America (Costa Rica and Panama). *Mar Poll Bull* 24(11): 554-561.

Haritonidis, S. y P. Malea. 1995. Seasonal and local variation of Cr, Ni and Co concentrations in *Ulva rigida* C Agardh and *Enteromorpha linza* (Linnaeus) from Thermaikos Gulf, Greece. *Environment Pollution*. 89:319-327.

Haritonidis, S. y P. Malea. 1999. Bioaccumulation of metals by the green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. *Environmental Pollution* 104(3):365-372.

Haynes, J. 2000. Organochlorine, Heavy Metal and Polyaromatic Hydrocarbon Pollutant Concentrations in the Gaet Barrier Reef (Australia) *Environment: a Review*. *Marine Pollution Bulletin* 41: 267-278.

Ho, Y. B. 1990. Metals in *Ulva lactuca* in Hong Kong Intertidal Waters. *Bulletin Marine Science*. 47: 79-85.

Horta-Puga, G. y R. Ramírez-Palacios, 1996. Niveles de plomo en esqueleto de coral arrecifal *Montrastea annularis*. en: Botello, A. V., J. L. Rojas, J. Benítez, D. Y. Zarate (Eds.). *Golfo de México, Contaminación e impacto ambiental: Diagnostico y tendencias*. Universidad Nacional Autónoma de Campeche. México., Centro de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México. Serie científica. 5: 666.

Horta-Puga, G. 2007. Environmental Impacts. 126-141pp. in: Winters, K. y J. W., Tunnell. 2007. Reef Biodiversity, en: Tunnell, J. W., A. Chávez, K. Winters. 2007. *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Edit Texas.

Karez, C. S., V. F. Magalhaes, W. C. Pfeiffer. 1994. Trace metal accumulation by algae in Sapetiba Bay Brazil. *Environmental Pollution* 83:351-356.

Kruk-Dowgiallo, L., J. Pempkowiak. 1997. Macrophytes as indicators of heavy metal contamination in the Puck Lagoon (southern Baltic). *Biodiversity in the Baltic Ecosystems*. Proceedings of the 14th Baltic Marine Biologists Symposium, 5-8 August 1995, Paernu, Estonia. 86-100pp.

Kut, D., S. Topcuglu, N. Esen, R. Kuçukcezzar y K. Guven. 2000. Trace metals in marine algae and sediment samples from the bosphorus. *Water, Air, and Soil Pollution* 118:27-33.

Lacerda, L., W. C. Pfeiffer y M. Fiszman, 1987. Heavy metal distribution, availability and fate in Sepetiba Bay, South of Brazil. *Science. Total Environment*., 65:163-73.

Leal, M. C., M. T. Vasconcelos, I. P. Sousa, J. P. Cabral. 1997. Biomonitoring with benthic macroalgae and direct assay of heavy metals in seawater of the Oporto coast (northwest Portugal). *Marine Pollution Bulletin* 34(12): 1006- 1015.

Lewis, M. y C. Chancy. 2008. Asummary of total mercury concentrations in flora and fauna near common contaminant sources in the Gulf of Mexico. *Chemosphere* 70:2016-2024.

Libes, M., C. F. Boudouresque. 1987. Uptake and long-distance transport of carbon in the marine phanerogam *Posidonia oceanica*. Marine Ecology Progress Serie 38,177-186.

Libes, S. M. 1992. An Introduction to Marine Biogeochemistry. Edit. John Wiley & Sons, Vol. 1. 364p.

Linden, O., U. Larsson y Z.S. Al-Alawi. 1998. Effects of chronic oil pollution in a shallow subtropical marine environment. Oil and Chemical Pollution. 5:65-79.

Littler, D. S., M. M. Littler, K. E. Bucher y J. M. Norris. 1989. Marine plants of the Caribbean: a field guide from Florida to Brazil. Smithsonian Institution Press, Washington. 263 p.

Littler, D. S., M. M. Littler. 2000. Caribbean Reef Plants. OffShore Graphics, Inc. Washington. 542p

Luna-Bauza, C. 1993. 70 años de datos climáticos en Veracruz, Ver. México: 1917-1986. Centro de previsiones del Golfo. Veracruz, México. 41p

Malea, P., S. Haritonidis, T. Kevrekidis. 1994. Seasonal and local variations of metal concentrations in the seagrass *Posidonia oceanica* (L) Delile in the Antikyra Gulf, Greece. The Science of the Total Environment. 153: 225-235.

Malea, P., S. Haritonidis, I. Stratis. 1994. Bioaccumulation of metals by rhodophyta species at Antikyra Gulf (Greece) near an aluminium factory. Botanica Marina 37(6):505-514.

Manahan. E. S. 2007. Introducción a la Química Ambiental. Edit Reverté. México D. F. 725p.

Mandelli, E.F. 1979. Contaminación por metales pesados. Rev Com Perm Pacífico Sur 10:209-228.

Martin Deva Prasath, P y T. Hidayathulle Khan. 2008. Impact of Tsunami on the Heavy Metal Accumulation in Water, Sediments and Fish at Poompuhar Coast, Southeast Coast of India. E-Journal of Chemistry Vol. 5, 1: 16-22.

Metian M., E. Giron, V. Borne, L. Hédouin, J. Teyslié, M. Warnau. 2008. The brown alga *Lobophora variegata*, a bioindicator species for surveying metal contamination in tropical marine environments. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 362:49-54.

Montgomery, R., T. Price. 1979. Release of Trace Metals by Sewage Sludge and the Subsequent Uptake by Members of a Turtle Grass Mangrove Ecosystem. Environmental Science and Tecnology. 13(5): 546-549.

Morlán-Cahue, Y. H. Opengo-Piña. 2005. Determinación de metales (Fe, Mn, Pb y Zn) en macroalgas clorofitas del Sistema Arrecifal Veracruzano, México. 373-388. en: Botello, A. V., J. Rendónvon-Osten, G. Gold-Bouchot, C. Agraz-Hernández. Golfo de

México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias. 2da Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696p.

Nienhuis, P. H. 1986. Background Levels of Heavy Metals in nine Tropical Seagrass species in Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 17(11):508-511.

Noriega, E. 2001. Metales Pesados en *Thalassia testudinum* (pasto marino) en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de licenciatura de Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma De México. 48p.

Ober, A. G., M. Gonzalez, I. Santa-Maria. 1987. Heavy metals in Molluscan, Crustacean, and other commercially important Chilean marine coastal water species. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 38:534-539.

Orduña-Rojas, J., R. M. Longoria-Espinoza. 2006 Metal Content in *Ulva lactuca* (Linnaeus) from Navachiste Bay (Southeast Gulf of California) Sinaloa, Mexico. *Environmental Contamination and Toxicology* 77:574-580.

Páez-Osuna, F., D. Alexander, H. M. y H. Fernández-Pérez. 1987. Trace metals in the fluvial system of Terminos Lagoon, México. *Marine Pollution Bulletin*. 18(6):294-297.

Páez-Osuna, F., M. J. Ochoa, H. Bojórquez, I. L. Michael. 2000. Macroalgae as Biomonitors of Heavy Metal Availability in coastal Lagoons from the Subtropical Pacific of Mexico. *Bulletin Environmental Contamination & Toxicology* 64(6):846-851.

Páez-Osuna, F. 2005. Efectos de los metales. 343-360 pp. Botello, A. V., J. Rendónvon-Osten, G. Gold-Bouchot, C. Agraz-Hernández. Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias. 2da Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696p.

Phillips, D. J. H. 1991. Heavy Metal Levels in Characteristic Benthic Flora and Fauna in the Central Aegean Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 22 :566-569

Price, N. M., F. M. Morel. 1990. Cadmium and cobalt substitution for zinc in a marine diatom. *Nature*. 344: 658-660.

Ragan, M. A., O. Smidsrod, B. Larson. 1979. Chelation of divalent metal ions by brown algal polyphenols. *Marine Chemical*, 7: 265-271.

Rai, A. N., Rowell y D. P. Stewartw. 1981a. Glutamate synthase activity in symbiotic cyanobacteria. *Journal of General Microbiology* 126: 515-518

Rainbow, P. S., D.J. Phillips. 1993. Cosmopolitan biomonitors of trace metals. *Marine Pollution Bulletin*. 26(11): 593-601.

Rainbow, P. S. 1995. Biomonitoring of Heavy Metal Availability in the Marine Environment. *Marine Pollution Bulletin*, 31(4-12):183-192.

Rivera, R. F. 2006. Determinación de metales traza (Cu, Ni, Pb, V y Fe) en agua de mar y en dos especies de corales en el arrecife Sacrificios del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Tesis de maestría en ciencias. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 105p

Riosmena-Rodríguez, R., A. Talavera-Sáenz, B. Acosta-Vargas y S. C. Gardner, 2009. Heavy metals dynamics in seaweeds and seagrasses in Bahía Magdalena, B.C.S., México. *Journal of Applied Phycology*. (22) 283-291

Rosales-Hoz, L., A. Carranza y R. U. Álvarez. 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz México. *An Instituto de Ciencias del Mar y Limnología* 70: 127-135.

Rosales-Hoz, L. y A. Carranza. 2005. Estudio geoquímico de metales pesados en el estuario del Río Coatzacoalcos. 394p. en: Botello, A. V., J. Rendónvon-Osten, G. Gold-Bouchot, C. Agraz-Hernández. *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias*. 2da Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696p.

Rosales-Hoz, L., A. Carranza-Edwards y O. Celis-Hernandez. 2007. Environmental Implications of Heavy Metals in Surface Sediments near Isla de Sacrificios, Mexico. *Bulletin Enviromet Contamination Toxicology* . 78:353–357

Salas-Pérez, J. y A. Granados-Barba. 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Átmosfera* 21(3), 281-301.

Schlacher-Hoelinmger, M. A. y T. A. Schlacher. 1998. Differential accumulation patterns of heavy metal among the dominant macrophytes of a mediterranean seagrass meadow. *Chemosphere* 37(8):1511-1519.

Seelinger, U., P. Edwards. 1977. Correlation Coefficients and Concentration Factors of Copper and Lead in Seawater and Benthic Algae. *Marine Pollution Bulletin*. 1(8):16-19.

Solís C., A. Martínez, E. Lavoisier, M. A. Martínez, K. Isaac-Olive. 2008. Trace metal análisis in sea grasses from Mexican Caribbean Coast by particle induced X-ray emission (PIXE) *Revista Mexicana de Física*. 54 :50-53.

Thursby, G. B., M. M. Harlin, 1982. Leaf-root interaction in the uptake of ammonia by *Zostera marina*. *Marine Biology*. 72 : 109-112.

Topcuoglu, S., K. Guven, N. Balkis y C. Kirbaasoglu. 2003. Heavy metal monitoring of marine algae from the Turkish coast of the Black Sea 1998-2000. *Chemosphere*. (52) 1683-1688.

Topcuoglu, S., D. Kirbas y Y. Zi-Ya-Yilmaz. 2004. Heavy metal levels in biota and

sediments in the northern coast of the Marmara sea. *Environmental Monitoring and Assessment* 96: 183–189.

Tropin, I. V. 1995. Distribution of trace metals in thalluses of red alga with special reference to their taxonomy and ecology. *Oceanology*. 35(1):92-98.

Tovar J. E. 2000. Evaluación de metales pesados en dos sistemas bentónicos arrecifales de Veracruz, Veracruz. Tesis de licenciatura de Biología. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 56p.

Tunnell, J. W. 2007. Reef Distribution. en: Tunnell, J. W., A. Chávez, K. Winters. 2007. *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Edit Texas. University Press.

Vargas-Hernández, J. M., A. Hernández-Gutiérrez, L. F. Carrera-Parra. 1993 Sistema Arrecifal Veracruzano. In: Salazar-Vallejo, S. I., N. E. González. 1993. *Biodiversidad Marina y Costera de México*. Com. Nac. Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México. 865pp.

Varian. 1989. *Analytical methods for graphite tube atomizer*. Australia.

Veroy, R. L., N. Montano, M. L. De Guzmán, E. C. Laserna y G. J. Cajipe. 1980. Studies on the binding of heavy metals to algal polysaccharide from Phillipine seaweeds. Carrageenan and the binding of lead and cadmium. *Bat. Marine* 23:59-70.

Viarengo, A. 1985. Biochemical effects of trace metals. *Marine Pollution Bulletin* 16(4):47-61.

Villanueva, F. S. y F. Páez-Osuna. 1996. Niveles de metales en el Golfo de México : agua, sedimentos y organismos. P.309-347. In : A. V. Botello, J. L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomelí. *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental : Diagnostico y Tendencias*. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX. Serie científica. 666p.

Villanueva, F. S. y A. V. Botello. 1998. Metal pollution in coastal areas of Mexico. *Reviews of Environmental Contamination & Toxicology*. 157: 53-94.

Villares, R., X. Puente y A. Carballeira. 2001. *Ulva* and *Enteromorpha* as indicators of heavy metal pollution. *Hydrobiology*. 462:221-232.

Vodopivec C., S. Farias, P. Smichowski. 2002. Niveles de metales pesados en seis especies de algas marinas de la Península Antártica.

Whelan, T., J. Espinoza, X. Villarreal, M. Cotta-Goma. 2005. Trace metal partitioning in *Thalassia testudinum* and sediments in the Lower Laguna Madre, Texas. *Environment International*. 31:15– 24.

Young, D. y M. Young. 1982. Macrobenthic invertebrates in bare sand and seagrass (*Thalassia testudinum*) at Carrie Bow Cay, Belize. En : Rutzler, K. e I. E. MacIntyre

(Ed.). The Atlantic barrier reef ecosystem at Carrie Bow Cay, Belize. I. Structure and communities. Smithsonian Contribution for Marine Science. 12: 115-126.

Zavala-Hidalgo, J., S. Morey, J. O'Brien. 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research*. 18(19):3-19.

Zieman, J. C. 1975. Tropical sea grass ecosystems and pollution. En: Ferguson, E. J. y E. J. Johannes (Ed.). *Tropical Marine Pollution*. Amsterdam: Elsevier Publication Co.: 63-74.

ANEXO I

Macroalgas

DIVISIÓN: Chlorophyta

Descripción

Chlorophyta (de el Griego *chloros*, significa “verde”, y *phyton*, significa “planta” o alga verde), son algas unicelulares y pluricelulares. A menudo están presentes en un alto número en mares tropicales. por ejemplo, el genero *Enteromorpha* puede proliferar sobre arrecifes cuando los nutrientes son altos, y la herbivoría es baja. Estos géneros de algas verdes son tolerantes a condiciones de estrés, y su presencia indica aporte de agua dulce o contaminación. El típico color de esta División es el resultado la presencia clorofila a y b. A pesar de tener pigmentos como carotenos y xantofilas, que protegen a las células de la insolación, muchas veces pueden adquirir tonos blanquecinos cuando hay bastante sol, especialmente en verano; La extensa variedad de formas y variedades se pueden ver fácilmente en el Caribe, tales como especies calcáreas característicos de aguas tropicales. Las algas verdes calcificadas, particularmente *Halimeda*, son especialmente importantes ya que contribuyen en la producción de sedimentos marinos. Las playas de arena del Caribe son resultado de erosiones de esqueletos de carbonato de calcio (Littler *et al.* 1989).

GÉNERO: *Enteromorpha* Link 1820

Talo membranoso tubular, hueco o si es aplanado tiene el margen hueco. Es ligeramente verde, ramificada o ligeramente ramificada en su base, alcanza una longitud de 20cm pero es generalmente pequeña. Crece en grupos o mechones cerca de la línea de marea baja. A menudo su crecimiento es epifito sobre otras algas marinas (Littler *et al.* 1989 y Littler & Littler 2000) (Figura 2).

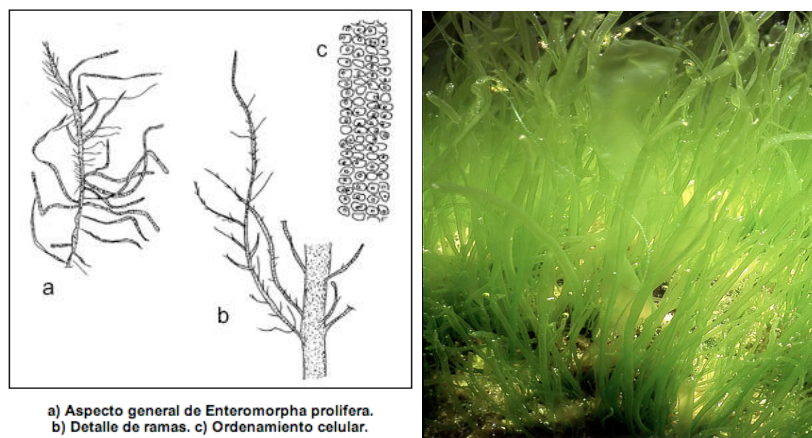


Figura 2. *Enteromorpha* izq. (www.unp.edu.ar) der. (www.klissurov.dir.bg/black_sea/seaweeds)

GÉNERO: *Caulerpa* Lamourox 1809

Ramas erectas. El talo es una estructura tabicada, consta de un rizoma o rizoide rastrero que va por debajo del sustrato y normalmente no es visible, en él se encuentra el caulioide y de éste un pedúnculo del que sale la fronde, que tiene una hoja alargada y de bordes lisos, aunque en las hojas más viejas y largas este borde se puede rizar o ondular, su color es verde intenso en las fronde más jóvenes, mientras que en las viejas el color es más pálido. Forma grandes praderas y a veces comparte espacio con otras algas (Taylor 1982).

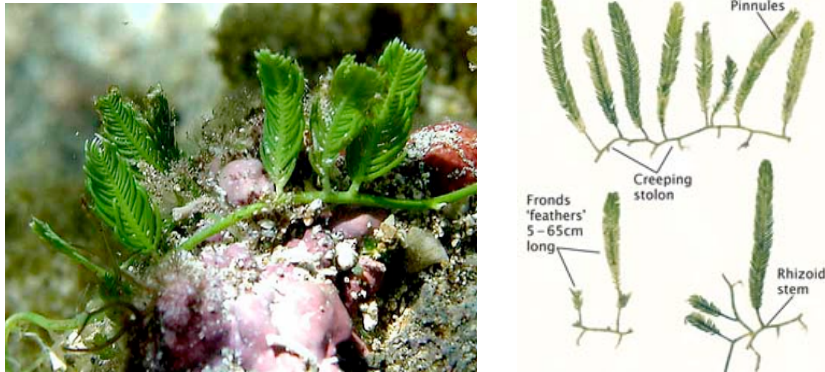


Figura 3. *Caulerpa* (www.todoacuario.cl)

GÉNERO: *Chaetomorpha* Kutzing 1845

Algas filamentosas no ramificadas unido por una capa de células basales; cilíndricas o usualmente algo más amplio en la base, o en la forma de mayor o menor número de filamentos libres o enredados, las células son multinucleadas, a menudo con paredes laminares. Los filamentos son duros o gruesos, rectos ondulados o torcidos (Taylor 1982).



Figura 4. *Chaetomorpha* a) aspecto general de Chaetomorpha. b), c) y d) Células desde el ápice hasta la base (www.unp.edu.ar/)

GÉNERO: *Dictyosphaeria* Decaisne 1842

Talo esférico cuando son jóvenes y aplanado cuando son maduros, multicelulares pues sus células son redondas y grandes, el talo es sólido o a menudo hueco, e incluso sigue creciendo después de la ruptura, unido por rizoides cortos no ramificados que contribuyen por diversas células cercanas a la base (Taylor 1982).

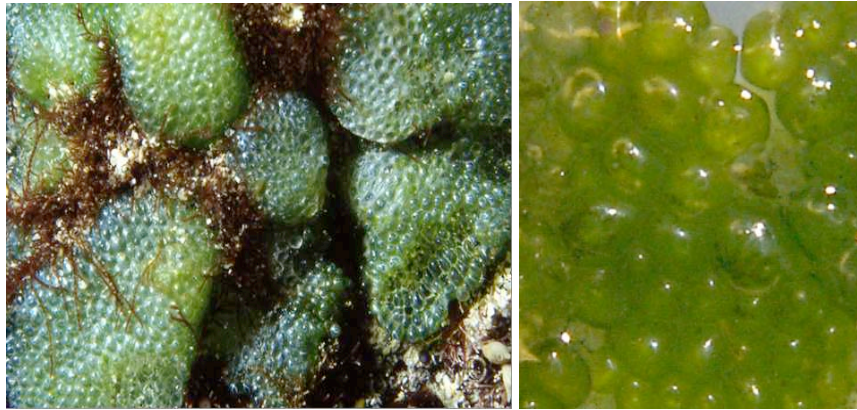


Figura 5. *Dictyosphaeria* izq. (www.botany.hawaii.edu/reefalgae) der. (www.taibif.org.)

GÉNERO: *Halimeda* Lamouroux 1812

Talo recto a partir de un fibroso zarcillo, ramificado con articulaciones alternando con segmentos calificados; segmentos moniliformes, cilíndricos o discoideos, simple o lobulados; estructura filamentosa, filamentos cenocéticos estrechamente paralelo y endurecidos en las articulaciones, ligeramente ramificada en la médula de los segmentos. El talo presenta incrustaciones de carbonato de calcio, se fija al sustrato con finos rizoides y se ramifica en un solo plano, pero siempre o casi siempre de forma dicotómica (Taylor 1982).

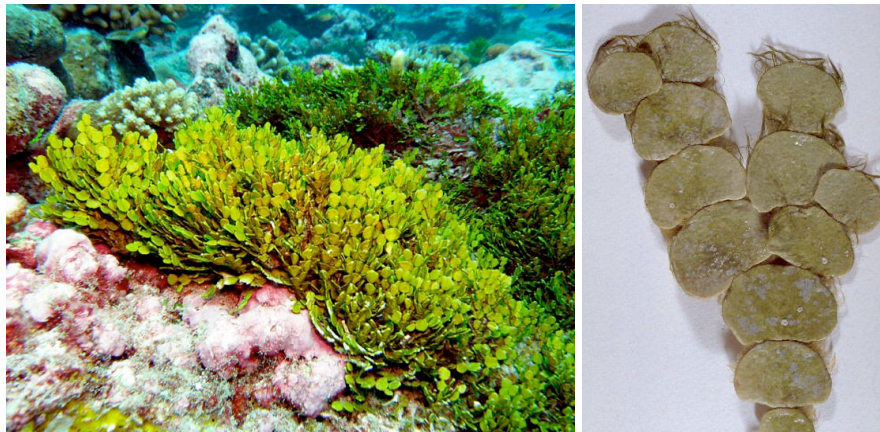


Figura 6. *Halimeda* izq. (www.nceas.ucsb.edu/) der. (www.horta.uac.nt).

GÉNERO: *Rhipocephalus* Kutzing 1843

Talo erecto calcificado forma una masa suelta de rizoides y arena, los talos son robustos y desnudos por debajo algunos se producen por encima, cada cóndilo con numerosas hojas que forman un racimo (Taylor 1982).



Figura 7. *Rhipocephalus* (www.deepseaimages.com)

DIVISIÓN: **Phaeophyta**

Los miembros de las Phaeophyta (del Griego *phaios*, significa café) son casi exclusivamente marinos y alcanzan su mayor abundancia, talla, y diversidad en aguas templadas. Las aguas tropicales tienen comparativamente pocas especies. Son filamentosas, ramificadas y las más complejas poseen unos sistemas conductores semejantes a los que poseen las plantas superiores. Son pluricelulares. La combinación de pigmentos fotosintéticos (clorofila a y c, fucoxantina y diatoxantina, principalmente) les permite realizar la fotosíntesis a muy diferentes profundidades del océano (Littler *et al.* 1989).

GÉNERO: *Dictyota* Lamouroux 1809

Talo laminar, erecto, arbustivo, cafés a pardo, unidas por un pequeño zarcillo, a menudo por un zarcillo secundario sobre racimos en contacto con el sustrato llamados estolones ramificados basales. Generalmente dicotómicas, poco pinadas. Los ápices de las ramificaciones son redondeados y bilobulados. Las ramas tienen una célula grande apical inicial en forma de domo. Muestra pelos sobre el talo en mechones poco visibles (Taylor 1982).

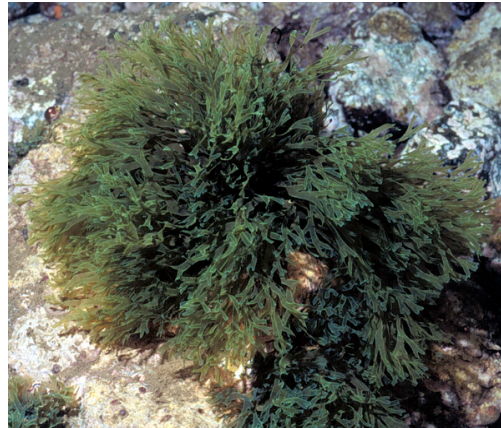


Figura 8. *Dictyota* (www.horta.uac.pt).

GÉNERO: *Padina* Adanson 1763

Talo laminar de consistencia rígida de color cafés o blanqueadas por un depósito de carbonato de calcio fina, tiene forma de abanico formado a veces por varias laminas superpuestas. El tamaño es de unos 15 cm. El talo está constituido por ejes polísticos con crecimiento simultáneo lo que origina que su morfología característica en forma de abanico. La superficie de la lámina se caracteriza por la presencia de pequeños rizoides, formando filas horizontales y concéntricas que se destacan más por las deposiciones cálcicas (Taylor 1982).



Figura 9. *Padina* izq. (www.foroantiguo.infojardin.com) der. (www.cantabrico2007.blogspot.com)

DIVISIÓN: **Rhodophyta**

Rhodophyta (del Griego *rhodon*, significa “rojo rosa”) es uno de los más grandes y diversos grupos de plantas arrecifales tropicales, con más de 4 000 especies. Rhodophyta ocupa un gran rango de profundidades por plantas fotosintéticas. Su color rojizo es el resultado del pigmento Ficoeritrina y Ficocianina, que enmascaran la clorofila a, el beta caroteno y otras xantófilas. Algunas son capaces de producir carbonato de calcio. Son pocas las formas unicelulares pero abundan las pluricelulares, organizadas por la unión de numerosos filamentos, que pueden formar láminas de hasta 1 m de longitud.

GÉNERO: ***Galaxaura*** Lamouroux 1812

Talo arbustivo, de talla moderada, suave a rígida, generalmente ramificada dicotómica, pilosas rojas cuando son jóvenes, en el interior del cortex dentro de la zona de filamentos se asimila calcio. Las formas de cúpulas hemisféricas, hasta de 15 cm, unidas por un zarcillo. Se compone de segmentos que se ramifican, son tubulares y lisos. Las puntas de las ramas parecen entrecruzadas y tiene un agujero central. Son de color rojizo a anaranjado y blanco.

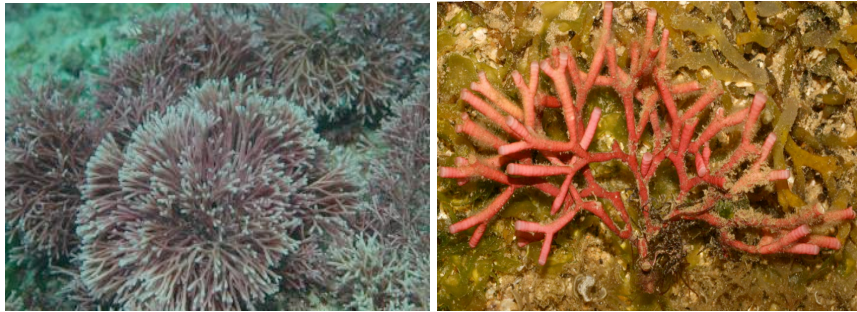


Figura 10. *Galaxaura* der. (<http://image.nmmba.gov>) izq. (www.algaebase.org).

GÉNERO: *Laurencia* Lamouroux 1813

Talo compuesto de varias ramas, erecto más o menos carnosa de apariencia cartilaginosa, ramificación radial o bilateral, alrededor de cada una tiene rudimentos tricoblasticos. Se une al sustrato por medio de ventosas discoidales, las ramas son cilíndricas.



Figura 11. *Laurencia* izq. (www.natuurlijkmooi.net) der. (www.wikivisual.com).

GÉNERO: *Hypnea* Lamouroux

Tiene una forma de crecimiento de alambre enredado, es de color amarillo brillante en áreas de fuerte irradiación pero en oscuridad es rojo como marrón. La talla varía de 3 cm a 30cm de altura. Muchos de los racimos son pequeños. Generalmente los talos se unen a rocas o a esqueletos de corales.



Figura 12. *Hypnea* (www.flickr.com/photos)

Fanerógama marina

FAMILIA: Hydrocharitaceae

ESPECIE: *Thalassia testudinum*

Presenta talos erectos que tienen producen de 3 a 7 hojas, no presentan ligula, son de 0.5 a 1 cm de ancho, con dos venas pericentrales. Los rizomas están enterrados de 3 a 12cm Los pastos marinos conforman el único grupo representante de las angiospermas marinas que ha evolucionado de tierra firme al mar y su adaptación al medio marino. Taxonómicamente no son pastos verdaderos. Son llamados así, debido a su similitud morfológica con éstos y a su apariencia con los campos de césped cuando se desarrollan extensivamente. Otra característica que los hace parecidos es su dispersión por estolones. Como ecosistema, las praderas de pastos marinos cumplen un sinnúmero de funciones ecológicas entre las que se destacan la producción de fuentes directas e indirectas de alimento, el suministro de sustrato para la fijación de epífitos y su contribución en la recirculación de nutrientes y estabilización de sedimentos (Zieman, 1975; Young y Young, 1982; Dawes, 1986). Gracias a estas funciones, los lechos de pastos marinos soportan una diversa comunidad de fauna, donde muchas especies de invertebrados y vertebrados de importancia comercial y ecológica encuentran además de alimento, sitios de crianza y protección (McNeill y Bell, 1992). Además, los pastos en sí son altamente productivos y aportan grandes cantidades de detrito al ecosistema (Zieman, 1982).

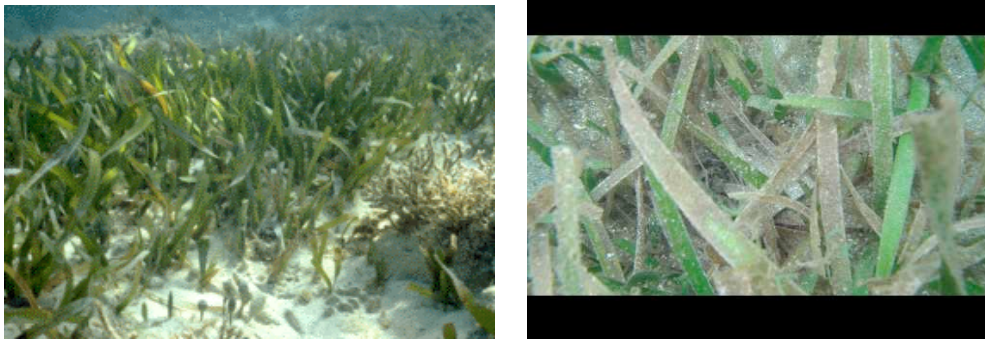


Figura 13. *Thalassia testudinum*. Izq. (www.informaction.org/images/seagrass)
de(www.videofe.com/tags/1/1/manglares)