



Posgrado en *Ciencias del Mar y Limnología*

Universidad Nacional Autónoma de México



Variación intraespecífica en la composición isotópica y elemental de especímenes de *Xestospongia subtriangularis* perteneciente al Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV)

T E S I S

que para obtener el grado académico de

Maestra en Ciencias

(Biología Marina)

p r e s e n t a

Edith González Flores

Directora de Tesis: Dra. Elva Escobar Briones

Comité Tutorial: Dr. José Luis Carballo Cenizo
Dr. Miroslav Macek
M. en C. Pedro Morales Puente
Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldia
Dr. Santiago Capella Vizcaíno

México D.F. Ciudad Universitaria 2009



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.

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico con mucho amor para MI HIJO EMILIANO quien durante todo el tiempo me acompañó en la creación de esta tesis.

Agradecimientos

Académicos

El apoyo institucional del ICMyL UNAM, durante la gestión del Dr. Adolfo Gracia Gasca y la Dra. Leticia Rosales Hoz.

Por la dirección de la tesis a la Dra. Elva Escobar Briones.

A las valiosas contribuciones del Comité Tutorial: Dr. José Luis Carballo Cenizo del ICMyL, Unidad Mazatlán, UNAM; al Dr. Miroslav Macek, FES Iztacala, UNAM; al M. en C. Pedro Morales Puente Instituto de Geología, UNAM.

A las valiosas contribuciones del Comité Tutorial ampliado: Dra Guillermina Alcaraz Zubeldia, Facultad de Ciencias, UNAM; al Dr. Juan Pablo Bernal Uruchurtu, Instituto de Geología, UNAM y al Dr. Santiago Capella Vizcaíno Facultad de Química SISAL, UNAM.

Los análisis de las muestras se realizaron con el apoyo financiero de los proyectos PAPIIT IN204307-3

Por la asesoría en el procesamiento de los datos de clorofila por la M. en C. Laura Peralta Soriano de la FES Iztacala, UNAM, en la reidentificación de la esponja por la Biol. Patricia Gómez López, del ICMyL, UNAM. Y en la interpretación de los datos calorimétricos por el M. en C. Francisco Javier García Villalobos del Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, México.

Por los análisis elementales de C y N realizados en la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación (USAI) de la Facultad de Química.

Al Laboratorio de Espectrometría de Masas de Isótopos Estables por los análisis de isotopía estable de C y N realizados por la M. en C. Edith Cienfuegos Alvarado y al M. en C. Francisco Otero del Instituto de Geología, UNAM y al Investigador responsable del laboratorio el M. en C. Pedro Morales Puente.

Al Laboratorio ICPMS del LUGIS, Instituto de Geología, UNAM y al análisis de metales pesados y tierras raras a la M. en C. Elena Lounejeva Baturina y al Dr. Juan Pablo Bernal Uruchurtu Investigador Responsable del laboratorio.

A la M en C. Margarita Portilla Bauza por los Análisis de calorimetría de barrido diferencial en la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación (USAI) de la Facultad de Química, UNAM.

Al M. en C. Margarito Álvarez Rubio Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM por su asesoría en estadísticos.

Las fotografías de microscopía electrónica se obtuvieron en el Instituto de Fisiología Celular, UNAM con el apoyo técnico del Sr. Jorge Sepúlveda.

Otros Agradecimientos:

A mi familia: Manuel mi esposo por su paciencia y amor que me brinda día a día, a mis padres Don Fer y a Lupita por su implacable apoyo, a Jonathan y Martha mis hermanos por su eterna compañía, a Ruy mi sobrino por los bellos momentos que me entrega, a Jorge y Virginie mis cuñados, por su constante solidaridad.

A las familias González Ocampo por su constante apoyo, en especial a Angélica, Vero y a la Sra. Martha Ocampo.

A todos los compañeros del Laboratorio de Biodiversidad y Macroecología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Índice

Dedicatoria.....	2
Agradecimientos	3
Resumen.....	13
Abstract.....	14
1. Introducción.....	15
2. Antecedentes.....	17
2.1 Análisis elemental (AE) en la caracterización de organismos.....	17
2.2 Uso de la isotopía estable como herramienta para el estudio del origen de las fuentes de alimentación.....	18
2.2.1 $\delta^{13}\text{C}$ de carbono orgánico.....	19
2.2.2 $\delta^{15}\text{N}$ de nitrógeno orgánico.....	20
2.2.3 Niveles tróficos.....	22
2.2.4 Fraccionamiento.....	24
2.3 Estudio de elementos	26
2.3.1 Elementos mayores.....	26
2.3.2 Elementos traza y metales pesados.....	27
2.3.3 Lantánidos o Tierras Raras.....	29
2.3.4 Estudios de elementos en organismos.....	30
2.4 La microscopía en el estudio de esponjas.....	31
3. Planteamiento del problema.....	32
4. Objetivos.....	33
4.1 Objetivo 1.....	33
4.2 Objetivo 2.....	33
4.3 Objetivo 3.....	33
4.4 Objetivos particulares.....	33
5. Hipótesis.....	33
6. Área de estudio.....	34
6.1 Actividad económica.....	34
6.2 Hidrología.....	34
6.3 Isla Verde.....	35
6.3.1 Localización geográfica.....	35
6.3.2 Características físicas.....	35
6.3.3 Estructura del arrecife.....	35
7. Materiales y Métodos.....	37
7.1 Trabajo de campo	37
7.1.1 Colecta.....	37
7.2 Trabajo de laboratorio.....	39

7.2.1 Reidentificación.....	39
7.3 Orígenes de las Muestras: Individuo y Capas de tejido interno y externo.....	42
7.4 Análisis Elemental (AE) de carbono y nitrógeno orgánicos.....	43
7.5 Análisis de Isotopía Estable de carbono y nitrógeno $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$	44
7.6 Análisis de elementos.....	45
7.7 Estadísticos.....	46
8. Resultados por Individuo.....	47
8.1 Análisis Elemental (AE).....	47
8.1.1 Contenido de carbono orgánico (C_{org}).....	47
8.1.2 Contenido de nitrógeno orgánico (N_{org}).....	48
8.1.3 Proporción carbono: nitrógeno (C:N).....	49
8.2 Análisis de Isotopía Estable.....	50
8.2.1 Análisis del isótopo de carbono ($\delta^{13}\text{C}$).....	50
8.2.2 Fraccionamiento del isótopo de carbono ($\Delta\delta^{13}\text{C}$).....	51
8.2.3 Análisis del isótopo de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$).....	51
8.2.4 Relación de $\delta^{15}\text{N}$ contra $\delta^{13}\text{C}$	52
8.2.5 Relación de $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N.....	53
8.2.6 Nivel trófico y fraccionamiento del isótopo de nitrógeno ($\Delta\delta^{15}\text{N}$).....	54
9. Resultados por capas.....	55
9.1 Análisis Elemental (AE).....	55
9.1.2 Contenido de carbono orgánico (C_{org}).....	55
9.1.3 Contenido de nitrógeno orgánico (N_{org}).....	56
9.1.4 Proporción carbono: nitrógeno (C:N).....	56
9.2 Análisis de Isotopía Estable.....	56
9.2.1 Análisis del isótopo de carbono ($\delta^{13}\text{C}$).....	56
9.2.2 Análisis del isótopo de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$).....	56
9.2.3 Relación de $\delta^{15}\text{N}$ contra $\delta^{13}\text{C}$ de la capa interna.....	57
9.2.4 Relación de $\delta^{15}\text{N}$ contra $\delta^{13}\text{C}$ de la capa externa.....	58
9.2.5 Relación de $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N de la capa interna.....	59
9.2.6 Relación de $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N de la capa externa.....	60
9.3 Análisis de elementos mayores.....	61
10. Descripción de elementos en el conjunto de individuos.....	62
10.1 Elementos mayores.....	62
10.1.1 Silicio.....	62
10.1.2 Sodio.....	62
10.1.3 Potasio.....	62
10.1.4 Calcio.....	62
10.1.5 Fosforo.....	63
10.1.6 Hierro.....	63
10.1.7 Aluminio.....	63
10.2 Elementos traza.....	67
10.2.1 Rubidio y Cesio.....	67
10.2.2 Berilio, Estroncio y Bario.....	68
10.3 Metales pesados.....	69
10.3.1 Zinc.....	69
10.3.2 Vanadio.....	69

10.3.3 Níquel.....	69
10.3.4 Cobre.....	69
10.3.5 Zirconio.....	69
10.3.6 Molibdeno.....	70
10.3.7 Cobalto.....	70
10.3.8 Plomo.....	70
10.3.9 Antimonio.....	70
10.3.10 Hafnio.....	70
10.3.11 Tantalio.....	70
10.4 Lantánidos o tierras rara.....	73
11. Discusión.....	76
11.1 Valoración estequiométrica en Individuos de <i>Xestospongia subtriangularis</i> ..	76
11.1.2 Proporción carbono: nitrógeno (C: N).....	78
11.2 Análisis de isotopía estable.....	79
11.2.1 Fuentes potenciales de carbono para un organismo filtrador.....	79
11.3 Composición isotópica $\delta^{13}\text{C}$ de <i>Xestospongia subtriangularis</i>	80
11.3.1 Fraccionamiento del isótopo de carbono ($\Delta\delta^{13}\text{C}$).....	82
11.3.2 Efecto local de la dieta.....	82
11.4 Composición isotópica $\delta^{15}\text{N}$ de <i>Xestospongia subtriangularis</i>	84
11.4.1 Nivel trófico y fraccionamiento del isótopo estable de nitrógeno ($\Delta\delta^{15}\text{N}$) ...	84
11.4.2 Isótopo estable de nitrógeno($\delta^{15}\text{N}$) como un trazador de la contaminación .	85
12. Capa de tejido interno y capa de tejido externo de <i>Xestospongia subtriangularis</i> ..	88
12.1 Variación en el contenido de carbono orgánico (C_{org}).....	88
12.2. Isótopos estables de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$).....	89
12.3 Elementos mayores	89
13. Descripción de elementos en el conjunto de individuos de <i>Xestospongia subtriangularis</i>	91
13.1 Elementos mayores.....	91
13.2 Elementos traza.....	93
13.3 Metales pesados.....	94
13.4 Tierras raras.....	99
14. Conclusiones.....	102
15. ANEXOS.....	104
ANEXO 1. Imágenes (SEM).....	105
ANEXO 2. Bases de datos.....	107
2.1 Individuos.....	107
2.2 Capa interna.....	108
2.3 Capa externa.....	111
ANEXO 3.....	114
Concentración de Tierras Raras (RE) en el conjunto de individuos de <i>Xestospongia subtriangularis</i>	114
Tierras raras ligeras.....	114
Tierras raras medias.....	115
Tierras raras pesadas.....	116
ANEXO 4.....	119
Descripción de la Serie de los Actinoides.....	119
16. Referencias.....	121

Índice de Tablas

Tabla 1 Valores del porcentaje de carbono (%C _{org}) y del porcentaje de nitrógeno (%N _{org}) orgánicos en corales con simbioses (Szmant et al. 1990)	p. 17
Tabla 2 Valores de los isótopos estables de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en esponjas e invertebrados marinos.....	p. 25
Tabla 3 Composición promedio de elementos mayores en sedimento expresados en porcentaje de peso seco (%) (Tomado de Rosales- Hoz et al. 2005).....	p. 26
Tabla 4 Composición promedio de elementos mayores en sedimento expresados en porcentaje de peso seco (%) de Isla Sacrificios (Tomado de Celis-Hernández 2006)	p. 27
Tabla 5 Composición elemental vía microanálisis de rayos X (Tabla modificada de Heldal et al. 1985)	p. 31
Tabla 6 Clave de los especímenes y características de la recolecta. La presencia de la termoclina se evaluó con un 1 y la ausencia con un 0	p. 38
Tabla 7 Contenido de carbono y nitrógeno orgánicos (C _{org} y N _{org}) y de la proporción C:N en el conjunto de individuos de <i>Xestospongia subtriangularis</i> recolectados en Isla Verde, Veracruz los valores se expresan en porcentaje de peso seco (%)	p. 47
Tabla 7a Contenido promedio de C _{org} y N _{org} (%) y de la proporción C:N en cada uno de los individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectados en Isla Verde, Veracruz.....	p. 47
Tabla 8 Descripción de la abundancia $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (valores expresados en ‰) en el conjunto de individuos de <i>Xestospongia subtriangularis</i> recolectados en Isla Verde, Veracruz	p. 50

Tabla 8a Contenido promedio de la abundancia de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (valores expresados en ‰) en cada uno de los individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectados en Isla Verde, Veracruz	p. 50
Tabla 9 Concentración de elementos mayores, valores expresados en porcentaje de peso seco (%) en el conjunto de individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectada en Isla Verde Veracruz	p. 64
Tabla 9a Concentración de elementos mayores, valores expresados en porcentaje (%) en cada uno de los individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectada en Isla Verde Veracruz	p. 64
Tabla 10 Concentración de los elementos del grupo 1, Rb y Cs (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectada en Isla Verde, Veracruz	p. 67
Tabla 10a Concentración de los elementos del grupo 1, Rb y Cs (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en cada uno de los individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectada en Isla Verde Veracruz	p. 67
Tabla 11 Concentración de los elementos del grupo 2, Be, Sr, Ba (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectada en Isla Verde, Veracruz	p. 68
Tabla 11a Concentración de los elementos del grupo 2, Be, Sr, Ba (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en cada uno de los individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectada en Isla Verde Veracruz	p. 68
Tabla 12 Concentración de metales pesados (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectada en Isla Verde, Veracruz.....	p. 71

Tabla 12a Concentración de metales pesados (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en cada uno de los individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde Veracruzp. 72

Tabla 13 Concentración promedio de Tierras Raras (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruzp. 73

Tabla 14 Concentración promedio de Tierras raras ligeras, medias y pesadas (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruzp. 74

Tabla 15 Descripción de las concentraciones de los elementos de la serie de los Lantanoides (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruzp. 117

Tabla 15a Concentraciones de elementos de la serie de los Lantanoides (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) y profundidad (m) reconocidos en individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruzp. 118

Tabla 16 Descripción de elementos Actinoides (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz. p. 120

Tabla 16a Concentración de los elementos Actinoides (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) y profundidad (m) reconocidos en *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde Veracruzp. 120

Índice de Figuras

Figura 1 Comportamiento del isótopo estable de carbono $\delta^{13}\text{C}$ (‰) en los ecosistemas marinos (Tomado de http://www.ifremer.fr/publi/Postes/index.html)	p.20
Figura 2 Comportamiento del isótopo estable de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$, [N2]) de fitoplancton contra concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en el Océano Pacífico (Libes 1992)	p. 22
Figura 3 Distribución del isótopo estable de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) en una trama Trófica acuática.....	p. 23
Figura 4 Abundancia de tierras raras, escala logarítmica y algunos metales comunes en la corteza terrestre (Cotton et al. 2006)	p.29
Figura 5 Isla Verde (recuadro en rojo) en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), Golfo de México. Tomada de http://www.massachusetts.edu/index 2008.....	p. 36
Figura 6 Esquema de la recolecta en Isla Verde, Veracruz en la laguna arrecifal y la zona oceánica	p. 37
Figura 7 Imágenes de la esponja <i>Xestospongia subtriangularis</i> (Duchassaing 1850), después de permanecer fijada	p. 40
Figura 8a-b Espículas de <i>Xestospongia subtriangularis</i> : a óxeas, b estile, c estrongile. b ectosoma Ocular 10x.....	p. 40
Figura 9a-b Reticulación del coanosoma en <i>Xestospongia subtriangularis</i> . a ocular 10x. b reticulación del coanosoma, ocular 40x.....	p.41
Figura 10a Esquema del origen de las muestras denominadas Individuo (ID) de especímenes de <i>Xestospongia subtriangularis</i>	p. 42
Figura 10b Esquema del origen de las muestras denominadas capa de tejido interno y capa de tejido externo de especímenes de <i>Xestospongia subtriangularis</i>	p. 43

Figura 11 Variación en la concentración de C_{org} (valores expresados en % de peso seco) en individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectados en Isla Verde, Veracruz.....	p. 48
Figura 12 Variación de la concentración de N_{org} (valores expresados en % de peso seco) en individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectados en Isla Verde, Veracruz	p.49
Figura 13 Variación en $\delta^{13}C$ en cada uno de los individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectados en Isla Verde, Veracruz	p.51
Figura 14 Relación de $\delta^{15}N$ contra $\delta^{13}C$ en individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectados en Isla Verde, Veracruz.....	p. 52
Figura 15 Relación de $\delta^{13}C$ contra C:N en individuos de <i>X. subtriangularis</i> recolectados en Isla Verde, Veracruz	p.53
Figura 16 Análisis de variación t-student entre los valores de C_{org} de la capa externa e interna de <i>Xestospongia subtriangularis</i> de la Isla Verde, Veracruz.....	p. 55
Figura 17 Relación de $\delta^{15}N$ contra $\delta^{13}C$ de la capa interna de <i>X. subtriangularis</i> de la Isla Verde, Veracruz	p.57
Figura 18 Relación de $\delta^{15}N$ contra $\delta^{13}C$ de la capa externa de <i>X. subtriangularis</i> de la Isla Verde, Veracruz	p. 58
Figura 19 Relación de $\delta^{13}C$ contra C:N de la capa interna de <i>X. subtriangularis</i> de Isla Verde, Veracruz	p. 59
Figura 20 Relación de $\delta^{13}C$ contra C:N de la capa externa de <i>X. subtriangularis</i> de Isla Verde, Veracruz	p. 60
Figura 21a-b Elementos mayores en individuos de <i>X. subtriangularis</i> . a Concentración de sodio. b Concentración de potasio, expresados en %	p. 65
Figura 22 Elementos mayores en individuos de <i>X. subtriangularis</i> . a Concentración de hierro, expresada en %	p. 66

Figura 23 Abundancia de Tierras Raras (RE) en escala logarítmica en <i>Xestospongia subtriangularis</i> recolectada en la Isla Verde, Veracruz	p. 74
Figura 24 Concentración normalizada de Tierras Raras de <i>Xestospongia subtriangularis</i> recolectada en Isla Verde, Veracruz.....	p. 75
Figura 25 Valores de $\delta^{13}\text{C}$ de diversos orígenes. La figura en líneas intermitentes indica el intervalo de $\delta^{13}\text{C}$ reconocido para <i>X. subtriangularis</i>	p. 83
Figura 26 Valores de $\delta^{15}\text{N}$ de diversos orígenes: ○ Fuente potencial, ● Valores de la literatura para diversos filtradores, + Este estudio	p. 87
Figura 27 Comparación de metales pesados (Zn, V y Ni) en organismos, agua, sedimentos del SAV y <i>Xestospongia subtriangularis</i>	p. 96
Figura 28 Comparación de Tierras Raras (escala Log) entre el patrón de la corteza, de <i>Sargassum hemiphyllum</i> , de algas verdes y de <i>Xestospongia subtriangularis</i>	p. 99

Resumen

La esponja *Xestospongia subtriangularis* habitante de la Isla Verde del Sistema Arrecifal Veracruzano en México, fue recolectada en la zona lagunar de la isla y en la zona oceánica con el objetivo de determinar sus fuentes potenciales de alimentación. Los individuos recolectados y sus tejidos externo e interno (capa interna y capa externa) se analizaron a partir de una caracterización elemental orgánica de carbono y nitrógeno, y de isotopía estable de carbono y de nitrógeno con la finalidad de reconocer variación en su composición. Se realizaron los análisis de elementos mayores, traza, metales pesados y elementos de las tierras raras, para determinar sus concentraciones por individuo. A nivel de individuo, se reconocieron diferencias significativas de carbono orgánico y nitrógeno orgánico. La razón carbono:nitrógeno sugiere que los individuos analizados utilizan fuentes autóctonas. El análisis de isotopía de carbono permitió reconocer dos fuentes de carbono y la presencia de un efecto de gradiente en relación a las fuentes potenciales de alimentación, producido entre las zonas lagunar y oceánica. Los resultados de isotopía estable de nitrógeno, permitieron ubicar a la esponja como un consumidor primario, además de la presencia de nitratos en el ambiente. El análisis de elementos mayores mostró semejanza entre los valores. Entre las capas de tejido se reconoció diferencias significativas en el análisis de carbono orgánico. Los elementos traza, metales pesados, lantánidos y actínidos se describen en los individuos analizados con el objetivo de establecer una línea base de los valores encontrados en organismos marinos filtradores del sistema costero del SAV.

Abstract

Specimens of the sponge *Xestospongia subtriangularis*, inhabitant of Isla Verde in the reef system of Veracruz, were collected in the reef lagoon and offshore bottoms with the objective of determining its potential feeding sources. The specimens collected were analyzed in the different tissue layers (inner and outer) for the Carbon and Nitrogen elemental content and stable isotopic composition. Significant differences were recorded at the individual level; differences were recorded as well between tissue layers. The Carbon: Nitrogen ratio results recognized that the individuals use autochthonous sources from the two different habitats. Carbon stable isotopic signatures recognized a depth gradient effect on the potential sources of feeding for the sponge. The Nitrogen stable isotopic signature defined the species as a primary consumer and recognized the importance of nitrates in the benthic food chain. The values recorded for major elements were within the range for other coastal marine organisms. The values that this study provides on trace elements, heavy metals, lanthanides and actinides will serve at the individual level as the baseline for benthic filter-feeder organisms in a coastal ecosystem.

1. Introducción

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) localizado frente al puerto de Veracruz, en el oeste del Golfo de México fue declarado por el gobierno mexicano como Parque Nacional Marino en el año de 1992, este tipo de ecosistemas son de los más ricos de nuestro planeta. En Veracruz el arrecife se presentan en pequeñas islas de manera dispersa, algunas de las condiciones específicas de estos ambientes son: temperaturas que oscilan entre 22° y 28° C, agua transparente y salinidad de 34 a 37ups (Tunell 1992, Vargas-Hernández et al. 1993, Almada-Villela 2002)

El SAV está ubicado en un sitio de importancia económica debido a la cercanía con la ciudad de Veracruz, uno de los principales puertos que influyen en la economía del país. También se encuentran en sus alrededores zonas de extracción de petróleo, recursos pesqueros y zonas turísticas. El SAV recibe descargas de diferentes orígenes además de las urbanas que desembocan en ríos y estuarios provocando un efecto negativo sobre la comunidad béntica marina (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca 2000).

Los organismos bénticos dependen de las fluctuaciones del plancton y de las condiciones físicas del medio además de las descargas provenientes del los ríos, las cuales tienen una gran cantidad de partículas que son subsidiadas por producción terrestre o ribereña. De esta forma el alimento que entra al sistema como material particulado es consumido por organismos bénticos en ausencia de florecimientos de fitoplancton, y se refleja en su reproducción y crecimiento. Partículas como el detrito y las microalgas juegan un importante papel en la nutrición de los filtradores (Page y Lastra 2003).

La distribución de las esponjas en los fondos marinos es amplia y ocupan entre el 50% y 60% en extensión de la comunidad béntica, además de tener un papel en la regulación de la producción primaria y secundaria ya que son filtradoras activas. Esta característica está ampliamente relacionada con el acoplamiento bentopelágico (Gili y Coma 1998, Gili et al. 2001, Cebrian et al. 2003). Estos organismos tienen una gran ventaja sobre otros filtradores, debido a que pasan a través de su cuerpo una gran cantidad de agua y tienen una excelente retención de partículas de 0.1 a 50 μm incluyendo al fitoplancton, bacterias, eucariontes heterotróficos y detritos (Osinga et al. 1999).

Las esponjas de los arrecifes veracruzanos incluyendo a *Xestospongia subtriangularis*, se han descrito por López-Herrera (1992) y Gómez (2002). Los estudios para el género *Xestospongia* comenzaron desde el siglo pasado, sin embargo en México fue Green (1977) quien contribuyó en la ecotoxicología de esta esponja y comprobó su actividad tóxica. Del género *Xestospongia* se han identificado y determinado diversos productos con efectos antivirales, antibióticos, anticancerígenos antitumorales y vasodilatadores entre otros, además de xestoquinonas y de los hidrocarburos de los grupos clionasteroles y petroesteroles (Vázquez 1998, Nakamura et al. 2005).

El material orgánico que forma parte de la dieta de organismos benthicos se ha descrito a partir del análisis elemental de carbono y de nitrógeno orgánicos y de la proporción C:N, con lo que se evalúa la calidad y el origen de la misma (Gnaiger y Bitterlich 1984; Cifuentes et al. 1999). Los estudios de isotopía estable de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en organismos permiten determinar tanto el origen del material asimilado como el nivel trófico de éstos. El enriquecimiento isotópico estable de carbono es de 0.5 a 1 ‰ por nivel trófico a partir de la dieta. Los factores que determinan el enriquecimiento incluyen a la pérdida preferencial del $^{12}\text{CO}_2$ durante la respiración, la asimilación preferencial de ^{13}C durante la digestión y por fraccionamiento diferencial de cada tejido. El fundamento de uso del $\delta^{15}\text{N}$ como indicador de la posición trófica se enfoca en que el organismo se enriquece en ^{15}N con respecto a su dieta en 3.2 a 3.4‰ por cada nivel trófico, independiente del hábitat (Michener y Schell 1994).

Debido a que las esponjas son filtradoras activas consumen partículas que pueden contener diferentes metales pesados y traza (Cebrian et al. 2003) los cuales son retenidos como se proponen en tres procesos principales de captación (Campbell y Tessier 1990):

1. A través de superficies respiratorias como las branquias
2. Adsorción del agua a las superficies corporales
3. A través del aparato digestivo

Algunos de los metales son micronutrientes para los organismos. La relación entre la acumulación de los metales y los organismos benthicos permite describir fuentes contaminantes potenciales y el reconocimiento de nuevos organismos bioindicadores que sirven en el monitoreo de la salud del medioambiente (Bjerregaard y Depledge 1994, Uriz et al. 1996, Carballo y Naranjo 2002, Perez et al. 2005, Rao et al. 2006).

2. Antecedentes

2.1 Análisis elemental (AE) en la caracterización de organismos

El AE permite describir la proporción de carbono y nitrógeno orgánico presente en los organismos (C:N) como indicador de la calidad alimenticia y la eficiencia en la utilización de recursos de los organismos analizados (Dorgelo y Leonards 2001). El porcentaje de carbono orgánico (%C_{org}) es un indicador de la producción de tejido vivo. Mientras que el porcentaje de nitrógeno orgánico (%N_{org}) presente en un organismo, es un indicador del índice nutricional del mismo. Este tipo de análisis se han aplicado en corales en donde Szmant y colaboradores (1990) lo emplearon para caracterizar la relación entre simbioses y hospedero en *Montastrea annularis* (Ma), *Acropora cervicornis* (Ac c), *Tubastrea coccinea* (Tc), *Astrangia poculata* (As p) (Tabla 1).

Tabla 1 Valores del porcentaje de carbono (%C_{org}) y del porcentaje de nitrógeno (%N_{org}) orgánicos en corales con simbioses (Szmant et al. 1990)

	Ma	Ac c	Tc	As p
%C	51.8 ±3.1	43.8 ±4	39.4 ±7.3	46.2 ±3.3
%N	5.5 ±0.5	8.5 ±0.6	8 ±1.5	8.6 ±0.9
C:N	11.1 ±2.0	6.1 ±0.9	5.7 ±0.3	6.3 ±0.5

Los resultados permitieron concluir que el coral con mayor cantidad de tejido vivo (Ma) presentó un porcentaje elevado de C_{org} y bajo en N_{org} que se pierde al ser utilizado por los simbioses.

El EA ayuda a conocer la variación y calidad de la materia orgánica, definiéndose esta última por su valor nutricional reflejado en tasas de crecimiento y de reproducción de los organismos. Para el caso de filtradores, este tipo de estudios son de importancia debido a que este tipo de organismos, contribuyen de manera significativa en todas las cadenas alimenticias marinas (Dorgelo y Leonards 2001). El análisis elemental se ha utilizado para valorar la materia orgánica y su efecto sobre la diversidad béntica (Tamez 2003) y cómo ésta puede variar a lo largo de un gradiente batimétrico además de su influencia sobre la abundancia y biomasa (Estrada 2004).

La proporción C:N en combinación con valores isotópicos se ha utilizado para discriminar entre las fuentes alóctonas y autóctonas de material orgánico suspendido (Goñi et al. 1998, Cifuentes et al. 1999). De igual manera ha permitido establecer la labilidad y la calidad de la materia utilizada por heterótrofos en diferentes estuarios del Golfo de México (Rice 1982) o también para determinar la biomasa de bacterias que por su alto contenido de N tiene repercusión en la trama heterotrófica (Lee y Fuhrman 1987).

2.2 Uso de la isotopía estable como herramienta para el estudio del origen de las fuentes de alimentación

Los organismos fotolitotrofos y quimiolitotrofos fijan CO₂ para formar materia viva. La materia viva tiene carbono, que en su mayoría es ¹²C, pero también hay átomos ¹³C y ¹⁴C. Como el ¹³C es estable, esta cantidad no va disminuyendo a partir de la muerte del organismo, como ocurre en la cantidad de ¹⁴C. La proporción de ¹³C es menor que la que existe en el CO₂ del aire (Koch et al. 1999). A partir de mecanismos enzimáticos los seres vivos “discriminan” negativamente las moléculas de CO₂ que tienen el isótopo pesado y “escogen” preferencialmente las que tienen el átomo normal. Lo mismo ocurre en las moléculas de oxígeno, de azufre y de nitrógeno donde se prefieren el ¹⁴N y no el ¹⁵N (Teece y Fogel 2004). El efecto que produce esta selección es que la materia viva “discrimina en contra” de las moléculas que tienen el isótopo pesado. Las distintas rutas metabólicas producen moléculas con diferente proporción de isótopos pesados. Al revisar esta proporción se puede deducir la posible vía metabólica que lo ha originado (Radajewski et al. 2000). La discriminación isotópica de un elemento se indica por el carácter delta minúscula (δ). Para hacer comparables las frecuencias obtenidas en distintas muestras, los resultados se refieren a un valor estándar, un material que se toma como referencia del valor del isótopo pesado con respecto del ligero. Para facilitar la expresión de los resultados se multiplican por mil. Así, la discriminación de un isótopo pesado ^AX, en partes por mil es:

$$\delta\text{‰}^A X = \left\{ \frac{R_m - R_{st}}{R_{st}} \right\} \times 1000$$

Donde R es la cantidad de isótopo pesado dividida por la cantidad del ligero, tanto en la muestra “m”, como en el estándar “st”. Si los organismos discriminan contra el isótopo pesado, los valores de δ ‰ serán negativos (Vander Zanden y Rasmussen 2001).

Los principales elementos de interés para el origen de las fuentes de alimento son el carbono, nitrógeno y azufre (Walker et al. 1999). Sus respectivos estándares son: para el carbono el PDB, que corresponde a un fósil marino del Cretácico (*Belemnitella americana*) de la formación PeeDee, en California del Sur, en Estados Unidos. El estándar del nitrógeno fue tomado del aire debido a que la proporción de ^{15}N en este medio es constante (0.36%). Finalmente el estándar del azufre, es el azufre del meteorito CDM (Canyon Diablo Meteorite Troillite) en Arizona Estados Unidos (Fry y Sher 1984).

2.2.1 $\delta^{13}\text{C}$ de carbono orgánico

Los análisis isotópicos permiten estudiar procesos específicos como la fotosíntesis y metabolismo, además de procesos a escalas mayores, como el estudio de recursos y flujo de energía a través de tramas ecológicas complejas a partir de la composición isotópica primaria en un hábitat (Teece y Fogel 2004). El análisis isotópico de carbono es un método efectivo para dar seguimiento al flujo de energía entre autótrofos y consumidores distinguiendo las fuentes de carbono a partir de cambios en la proporción de la fuente de alimentación.

Este análisis tiene la ventaja sobre otras técnicas utilizadas para describir las tramas tróficas, que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del consumidor tienen un enriquecimiento de 1‰ a partir de la fuente original de carbono (Fry et al. 1982, Guest et al. 2004, Teece y Fogel 2004). El enriquecimiento se ve favorecido por la pérdida preferencial del $^{12}\text{CO}_2$ durante la respiración, el fraccionamiento metabólico durante la síntesis de los diferentes tipos de tejidos y la asimilación preferencial de los compuestos de ^{13}C durante la digestión (Koch et al. 1994).

En las tramas tróficas marinas el material orgánico particulado (MOP) es de gran importancia, y comúnmente tiene un valor estándar $\delta^{13}\text{C}$ de -22‰ e incluye una mezcla de fitoplancton, detritos, macrozooplancton y bacterias. También es de importancia el fitoplancton que se reconoce en el intervalo $\delta^{13}\text{C}$ de -19 a -24 ‰ y por lo tanto la variación de $^{13}\delta\text{C}$ en ambos definirá el sistema de la red trófica pelágica (Peterson y Fry 1987, Michener y Schell 1994) (Figura 1).

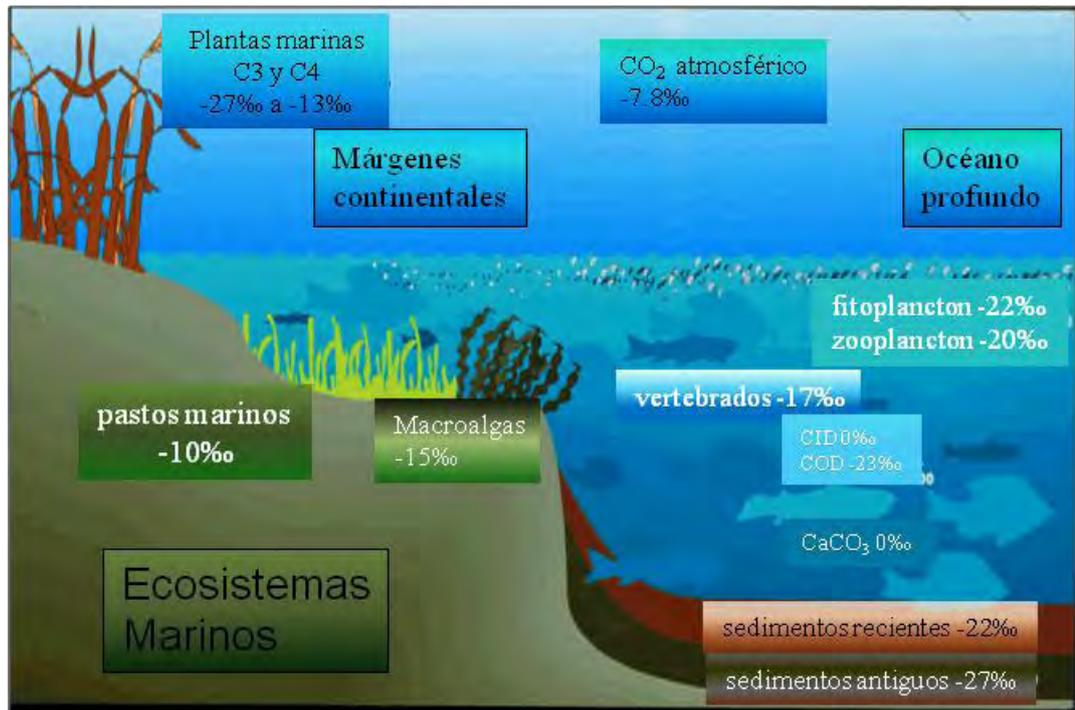


Figura 1 Comportamiento del isótopo estable de carbono $\delta^{13}\text{C}$ (‰) en los ecosistemas marinos (Tomado y modificado de <http://www.ifremer.fr/publi/Postes/index.html>).

Como ejemplos de estudios en organismos tenemos el de DeNiro y Epstein (1978) con nemátodos en donde reconocieron un enriquecimiento de $\delta^{13}\text{C}$ 0.7 a 1.5‰ y en promedio=1.1‰ del animal con respecto a su dieta. También se ha realizado estudios para determinar tramas tróficas (Currin et al. 1995, Bearhop et al. 2004, Becker y Beissinger 2006) y relaciones bentopelágicas (Coffin et al. 1989, Coffin et al. 1994, Riera y Richard 1996, Bouillon et al. 2002, Connolly et al. 2005). Esta técnica se ha empleado en una gran diversidad de taxones y en diversos ecosistemas como ventilas hidrotermales e infiltraciones frías incluyendo a cangrejos, moluscos y peces de estas zonas extremas (Juniper y Sibuet 1987, Kennicut et al. 1988, Hessler y Kaharl 1995, Scott et al. 2004).

2.2.2 $\delta^{15}\text{N}$ de nitrógeno orgánico

El $\delta^{15}\text{N}$ del Nitrógeno Orgánico Particulado (NOP), a diferencia del $\delta^{13}\text{C}$ del Carbono Orgánico Particulado (COP), se ve afectado por la concentración y formas en las cuales se presenta el nitrógeno. En el trabajo de Wada y Hattori (1976) en plancton

del Pacífico se correlacionó inversamente con la concentración de nitrato en la zona. De esta forma, la asimilación del nitrógeno por el fitoplancton establece el valor inicial de $\delta^{15}\text{N}$, del cual se derivará el nitrógeno orgánico particulado en la superficie del océano. Los valores de nitrato varían con la concentración del Nitrógeno Inorgánico Disuelto (NID), por la temperatura, la concentración de oxígeno y profundidad y es a partir de este conocimiento que el valor isotópico promedio del NOP es de $+5.8 \delta^{15}\text{N}$ que varía regionalmente y reconocido en un intervalo de $+5$ a $+7\%$.

En la Figura 2 se observan tres comportamientos de fitoplancton causados por la concentración de nitrato. En el fitoplancton del grupo I se observa un relativo empobrecimiento en ^{15}N debido al fraccionamiento durante la asimilación de NID. El del grupo II se refiere a fijadores de N_2 y por lo tanto su valor $\delta^{15}\text{N}$ es cercano a 0% . El fitoplancton del grupo III está relativamente enriquecido en ^{15}N debido a las limitaciones de nitrógeno (Liu y Kaplan 1989, Goering et al. 1990, Michener y Shell 1994, Vander Zanden y Rasmussen 2001).

En las zonas estuarinas se ha encontrado con valores desde $+2.4$ hasta $+5.6\%$, afectado principalmente por la presencia de detritos de macroalgas y pastos marinos (McClellan y Valiela 1998).

Los valores obtenidos a partir de isotopía estable permiten en el caso de esponjas de zonas someras y arrecifales hacer estudios de proxies (Böhm et al. 1996, Delecat y Reitner 2005) e indicadores de contaminación y eutrofización (Patel et al. 1985) también permiten analizar la bio-erosión y la evaluación de arrecifes a partir de valores del isótopo de nitrógeno ^{15}N (Ward-Paige et al. 2005) y para evaluar la relación de flujo de nitrógeno entre la esponja y el simbiote (Davy et al. 2002) (Tabla 2).

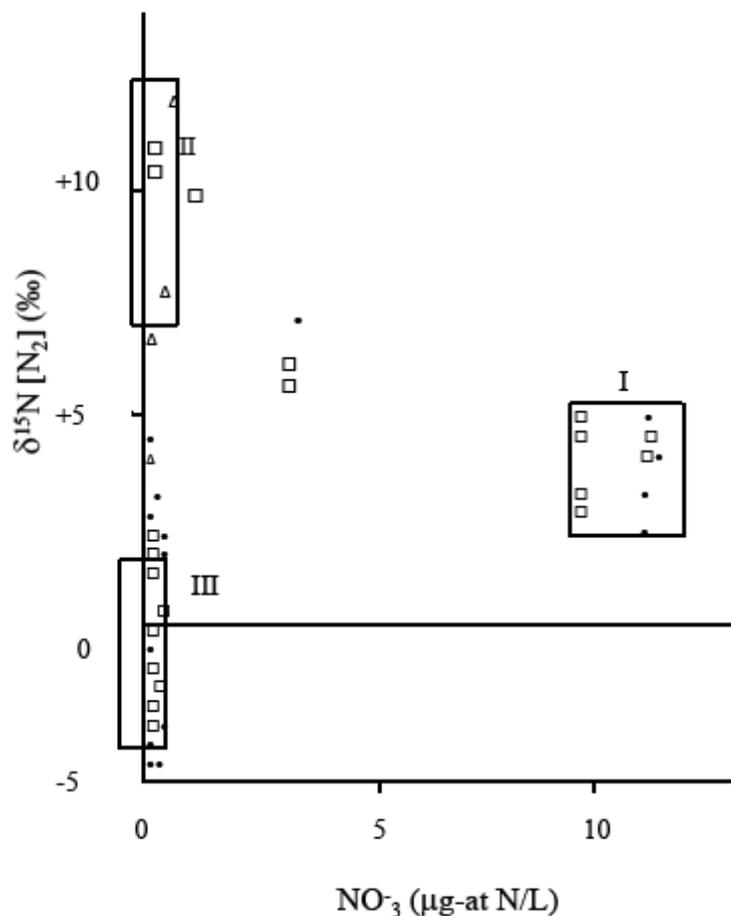


Figura 2 Comportamiento del isótopo estable de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$, $[\text{N}_2]$) de fitoplancton contra concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) en el Océano Pacífico (Libes 1992).

2.2.3 Niveles tróficos

La posición trófica está definida por la cantidad de energía transferida entre presa y su consumidor. El productor primario se utiliza como línea base. La posición trófica del consumidor puede ser calculada de diversas maneras una de ellas se describe en la Fórmula 1 (Vander Zanden y Rasmussen 2001). Minagawa y Wada (1984) determinaron el enriquecimiento de tejidos animales con respecto a su dieta entre +1.3 a +5.3‰ con un valor promedio de +3.4‰ con una desviación estándar de 1.1‰ (Figura 3).

Debido a que la varianza del fraccionamiento es conocida, se asume que el fraccionamiento (Δ) $\delta^{15}\text{N}$ es constante (Peterson y Fry 1987). La posición trófica requiere del supuesto establecido *a priori* en el que el fraccionamiento trófico es constante y es a partir de este valor promedio que se establecen los niveles tróficos.

Para confirmar el nivel trófico (NT) de *Xestospongia subtriangularis* se utilizó la fórmula de Vander Zanden y Rasmussen (2001). En donde N_{GT} corresponde al consumidor y N_{CP} a la línea base:

$$NT = 2 + \left(\frac{\delta^{15}N_{GT} - \delta^{15}N_{CP}}{3.4} \right) \quad \text{Fórmula 1}$$

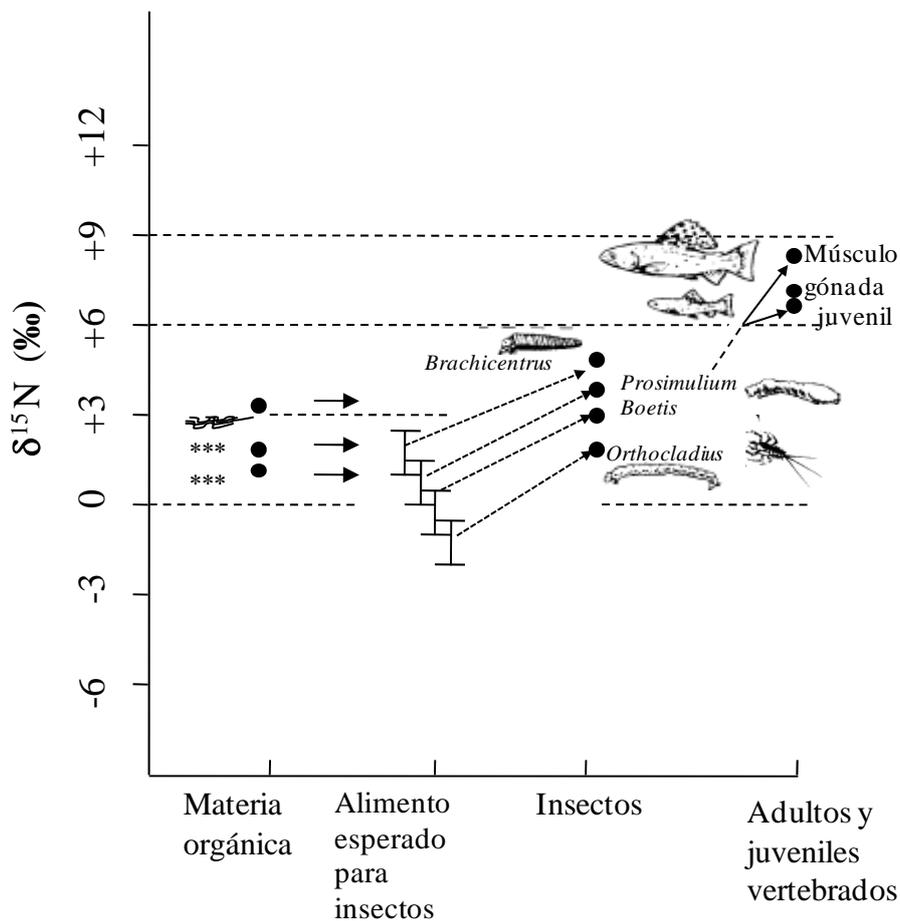


Figura 3 Distribución del isótopo estable de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) en una trama trófica acuática (Tomada y modificada de Peterson 1999).

2.2.4 Fraccionamiento

El fraccionamiento o segregación isotópica se define como la diferencia entre la composición isotópica de dos muestras relacionadas. Expresa la relación de las proporciones isotópicas δ_A y δ_B (Hayes 1993):

$$\Delta_{A/B} \equiv \delta_A - \delta_B \quad \text{Fórmula 2}$$

El fraccionamiento es causado por las diferencias fisicoquímicas que existen entre el isótopo y el elemento. Los orígenes de las diferencias pueden deberse a los mecanismos de reacción y a las condiciones medioambientales.

Este valor es utilizado para estimar cuantitativamente el cambio del $\delta^{15}\text{N}$ y del $\delta^{13}\text{C}$ de la presa al depredador y se presenta con la connotación $\Delta^{15}\text{N}$ y $\Delta^{13}\text{C}$, respectivamente. Este valor da información del tipo de alimentación como la omnívora, la posición trófica y la longitud de la cadena alimentaria y el flujo de energía (Vander Zanden y Rasmussen 2001).

Tabla 2 Valores de los isótopos estables de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en esponjas e invertebrados marinos

	Valor $\delta^{13}\text{C}$ ‰	Valor $\delta^{15}\text{N}$ ‰	Referencia	Comentarios
Especies de esponjas				
<i>Haliclona cymiformis</i>		+4.88‰	Davy et al. (2002)	Esponja con simbioses
<i>Cliona delitrix</i>		Belice +2.2 y Florida +5.2	Ward-Paige et al. (2005)	Estudio regional y temporal
Esponjas sin identificar	desde -16.0 hasta -19.2		Fry et al. (1982)	En un arrecife de coral y campo de <i>Thalassia sp</i>
<i>Ceratoporella nicholsoni</i>	+ 2.9		Böhm et al. (1996)	Toman la fracción inorgánica de C
<i>Acanthochaetetes wellsi</i>	+ 4.9		Böhm et al. (1996)	
Esponjas fósiles	+2 y -3		Delecat y Reitner (2005)	Toman la fracción inorgánica de C
Organismos bénticos				
Con simbioses				
<i>Heliofungia actiniformis</i>	desde -13.9 hasta -9.4	desde 0.0 hasta + 5.6	Hoegh-Guldberg et al. (2004)	Coral
<i>Pocillopora damicornis</i>	desde -14.01 hasta -11.00	desde 0.0 hasta + 5.1	Hoegh-Guldberg et al. (2004)	Coral
Sin simbioses				
<i>Solen cylindraceus</i>	desde -22.1 hasta -21.7	desde +9.5 hasta +9.7	Richoux-Froneman (2007)	Bivalvo (filtrador)
<i>Upogebia africana</i>	desde -9.7 hasta -15.0	desde +9.5 hasta +10.8	Richoux-Froneman (2007)	Camarón (filtrador)

2.3 Estudio de elementos

2.3.1 Elementos mayores

Los elementos mayores se encuentran disueltos en el medio marino en proporciones constantes, con un comportamiento conservativo y forman parte de los solutos mayores en el agua de mar. Los elementos mayores constituyen más o menos el 99% de la salinidad del agua de mar y son: el sodio, calcio, potasio, cloro, silicio, bromo, magnesio y hierro, la concentración en el agua de mar de estos es de 0.5 a 750 mM (Libes 1992, Millero 2006). Debido a su abundancia éstos también son reportados como porcentaje de peso seco (%) (Ansari et al. 2004). Los elementos mayores se han analizado en la zona de estudio para evaluar el impacto terrígeno en desembocaduras de ríos en sedimentos del Golfo de México como es el Papaloapan (Tabla 3) o durante tres temporadas en el arrecife de Isla Sacrificios (Tabla 4).

Tabla 3 Composición promedio de elementos mayores en sedimento expresados en porcentaje de peso seco (%) (Tomado de Rosales- Hoz et al. 2005)

Estaciones	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
P1	55.62	2.07	1.93	12.28	0.11	3.18	8.84
P2	57.92	2.09	1.95	10.61	0.13	3.17	9.03
P3	56.41	2.12	1.89	11.9	0.11	3.13	8.81

Tabla 4 Composición promedio de elementos mayores en sedimento expresados en porcentaje de peso seco (%) de Isla Sacrificios (Tomado de Celis-Hernández 2006)

Elemento (%)	Temporada		
	Secas	Lluvias	Nortes
Si	55.93	55.58	55.05
Al	9.84	10.5	10.36
Fe	3.61	4.21	3.72
Ti	0.54	0.67	0.56
Mn	0.07	0.08	0.07
Na	2.64	2.59	2.59
K	1.67	1.6	1.65
Mg	2.07	2.26	2.10
P	0.13	0.15	0.14

2.3.2 Elementos traza y metales pesados

Los elementos traza en el agua de mar están unidos a todos los intervalos de tallas y pesos de moléculas, típicamente están asociadas a superficies de partículas minerales donde son facilitados para procesos microbiológicos y fotoquímicos. La cantidad en su concentración es inferior a una parte por billón ($\mu\text{g L}^{-1}$) o menos, y en tiempos recientes han mostrado un incremento en el medio ambiente debido a las actividades antropogénicas (Santschi et al. 1999). Éstos funcionan, así mismo como bioelementos y en concentraciones superiores tienen efectos tóxicos en los organismos (Libes 1992). El rápido aumento en el conocimiento de los elementos traza, así como su distribución e interacciones se deben a los avances en la instrumentación y en el manejo de estos elementos desde el muestreo, almacenamiento y el análisis (Millero 2006).

Algunos de los elementos traza son metales pesados y se definen como elementos cuya densidad es mayor a 5 g mL^{-1} (Moreno-Sánchez y Devars 1999). A la expresión “Metal Pesado” se le ha dado una connotación de toxicidad (Ansari et al. 2004). Sin embargo, Nieboer y Richardson (1980) clasificaron los metales pesados en tres categorías con base a características químicas y biológicas. La clase A incluye a los

iones de los metales alcalinos, los alcalinotérreos, lantánidos, actínidos y el aluminio. La clase B incluyen al cobre, rodio, paladio, plata, iridio, platino, oro, mercurio, talio, plomo (Pb^{IV}) y bismuto ($\text{Bi}^{\text{3+}}$). Finalmente la clase C comprenden la primera línea de los metales de transición y sus estados de oxidación comunes así como al galio, indio, cadmio, estaño y plomo ($\text{Pb}^{\text{2+}}$). También forman parte de esta categoría el ion de hidrógeno y los iones metálicos de arsénico (As^{III}) y antimonio (Sb^{III}), además de diversos micronutrientes. Los metales pesados son constituyentes naturales de los medios marino y dulce. Sin embargo las actividades humanas aumentan las concentraciones en el agua y finalmente son incorporados por los sedimentos de estos medios.

Algunos de los metales pesados son esenciales para la vida, algunos son benéficos y algunos otros son altamente tóxicos. Los criterios para establecer si un metal traza es esencial o no en los animales incluye: a) el organismo no puede cumplir con su ciclo de vida sin un adecuado suplemento del elemento; b) el elemento no puede ser remplazado por ningún otro elemento; c) el elemento tiene una influencia directa en el organismo y lo requiere en su metabolismo (Ansari et al. 2004).

En el Golfo de México se han evaluado metales pesados como el níquel, el zinc y el plomo. El níquel se ha reconocido en sedimentos de desembocaduras de ríos con valores desde 24.8 hasta 44.38 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Amezcuca 1998, Celis- Hernández 2006), también en estuarios con concentraciones de 13.9 a 26.6 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Santschi et al. 1999) y en islas del SAV con valores de 25.2 y 28.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso seco (Tovar 2000).

El zinc fue reconocido en la desembocadura del río Jamapa con valores de 48.39 a 62.54 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Celis- Hernández 2006) y en el SAV se encuentra en promedio en 28.9 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tovar 2000) otro elemento de importancia por su toxicidad es el plomo que en estuarios tiene concentraciones variables de 9.9 a 119 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Santschi et al. 1999) mientras que en desembocaduras de ríos la concentración es de 12.33 a 17.97 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Celis- Hernández 2006) y en el Sistema Arrecifal Veracruzano se determinó en concentraciones de 44.4 a 49.9 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tovar 2000).

Metales pesados como el cobre, vanadio y hierro también se han evaluado en el agua superficial y en el agua de fondo del SAV, obteniéndose valores promedios en $\mu\text{g L}^{-1}$ de cobre de 1.85, vanadio con 0.54 $\mu\text{g L}^{-1}$ y hierro 9.9 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Rivera 2006) en la misma zona se han reconocido con valores en sedimentos como a continuación se menciona: cobre 11.07 $\mu\text{g g}^{-1}$ y el vanadio con 100.82 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Celis-Hernández 2006).

2.3.3 Lantánidos o Tierras Raras

Los elementos de las Tierras Raras Re (Rare Earth) o REE (Rare Earth's Elements, por sus siglas en inglés) son relativamente comunes en la corteza terrestre y algunos se encuentran en la misma cantidad que elementos como el Cu (Figura 4). Casi todos son elementos blandos de puntos de fusión de 1000° C y de ebullición de 3000° C. Reactividad similar a los alcalinotérreos y reaccionan con agua para dar hidróxidos. La mayoría tienen estado de oxidación de +3 en solución acuosa y forman óxidos del tipo M_2O_3 (Cotton 2006). En la corteza terrestre los lantánidos tienen una abundancia que varía ampliamente, pero se sabe que los elementos que tienen número par son más abundantes que los de abundancia impar (Cotton et al. 2006).

Los elementos de las tierras raras se han clasificado comúnmente como tierras raras ligeras, medias y pesadas con base a su número atómico. A saber, las tierras raras ligeras, son desde el lantano al neodimio, las tierras raras medias son del samario al disprosio y del holmio al lutecio incluyendo el ytrio son las llamadas tierras raras pesadas (Sabot y Maestro 1995). Actualmente se sabe que las tierras raras ligeras, es decir, con los menores números atómicos, son incompatibles con los otros radios iónicos y por lo tanto están más concentrados en la corteza terrestre, que las tierras raras pesadas o número atómico mayor. Así que el lantano, cerio, praseodimio y neodimio son las más abundantes en la corteza continental (Grupta y Krishnamurthy 2004).

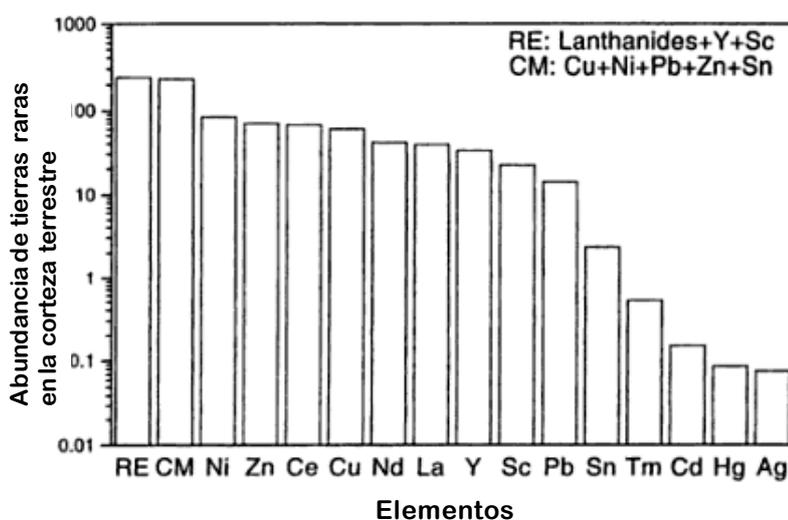


Figura 4 Abundancia de tierras raras, escala logarítmica y algunos metales comunes en la corteza terrestre (Cotton et al. 2006)

Los elementos de las tierras raras requeridos de forma pura, comúnmente son utilizados en los campos de la electrónica en usos magnéticos y en la óptica. Mientras que la mezcla de tierras raras se utiliza como aditivos de aceros de aplicación especial (Grupta y Krishnamurthy 2004). China cuenta con el 70% de las reservas internacionales y la producción anual mundial asciende a cerca de 20 000 toneladas (Handerson 1996).

En la corteza terrestre las tierras raras no se presentan en estado puro, sino como conglomerados, además de encontrarse en bajas proporciones de aproximadamente 10 a 300 ppm en rocas como basaltos, granitos, gneis y silicatos (Cotton 2006). Existen aproximadamente 160 minerales discretos donde las tierras raras se presentan como óxidos, y otra cantidad menor de minerales donde las tierras raras se presentan por sustitución atómica (Handerson 1996).

Como regla general ningún mineral contiene todas las tierras raras, algunas se presentan con mayor abundancia que otras. El total de tierras raras que hay en el mundo son suficientes para cubrir la demanda de los siguientes siglos (Grupta y Krishnamurthy 2004).

La presencia de las tierras raras en los sistemas marinos es de interés debido a que su concentración es muy pequeña, y por que anteriormente la separación con otros elementos era difícil. Por lo tanto el conocimiento de la distribución y su papel en los sistemas marinos está limitado (Sakamoto et al. 2008).

2.3.4 Estudios de elementos en organismos

La adsorción y la toxicidad de los metales pesados en organismos acuáticos se deben a procesos diversos y algunos de los principales son el tiempo de exposición y la concentración del metal. La importancia de los estudios de metales en esponjas radica en que cada especie presenta cierto grado de resistencia y susceptibilidad a diversos contaminantes (Cebrian et al. 2003). Además de que dentro de la trama trófica la concentración de los metales se modifica dependiendo del tipo de tejido, de la forma de alimentación y del nivel trófico del organismo (Páez–Osuna 1988)

Valores obtenidos a partir de rayos x en bacterias de *E. coli* (Heldal et al. 1985), se obtuvieron con la finalidad de determinar el incremento en biomasa bacteriana en picogramos de peso seco por célula (fg ps cel^{-1}) en medios con muestras pequeñas, 0.005 a 0.1 picogramos de peso seco (pg ps). A partir de este método se pudieron

determinar las concentraciones de elementos mayores en colonias de las mismas y compararlas con tejidos de otros organismos en donde no se encontraron diferencias en sus concentraciones (Tabla 5).

Tabla 5 Composición elemental vía microanálisis de rayos x (Tabla modificada de Heldal et al. 1985)

Composición elemental de <i>E. coli</i> (fg ps cel ⁻¹)							
Fase	Na	Mg	P	S	Cl	K	Ca
exponencial							
Tardía	6.52	1.81	11.7	2.91	6.51	11.78	0.60
Temprana	7.97	1.32	8.35	1.89	3.78	3.31	0.07

La toxicidad de los metales en el medio acuático depende de la forma química en que se encuentren: iones simples o complejos, óxidos o hidróxidos, complejos organometalicos hidro- o liposolubles. Las interacciones de los componentes celulares se establecen con la especie química particular de cada elemento. La solubilidad y la biodisponibilidad de las especies metálicas varían con la temperatura, tiempo, pH, la concentración de oxígeno disuelto y con el tamaño y naturaleza de las partículas en el sistema acuático (Moreno-Sánchez y Devars 1999). Para este fin existen dos tipos de estudios que utilizan a los organismos para conocer el efecto de los contaminantes en el medio ambiente: los estudios experimentales, en donde las concentraciones de uno o varios contaminantes es modificada y los de campo u observacionales (Cebrian et al. 2003). Este estudio pertenece al último tipo, del tipo observacional, en la que se reportan resultados de muestras de fauna colectada.

2.4 La microscopía en el estudio de esponjas

En un gran número de estudios se han utilizado diferentes microscopios como el de transmisión (Wilkinson 1978a y b, Santavy et al. 1990), el de barrido (Burja y Hill 2001) y de epifluorescencia (Usher et al. 2001) como instrumentos para establecer la posición, forma y estructuras de bacterias y algas en el interior de las esponjas que en la mayoría de los casos se localizan en el mesohilo (Burja y Hill 2001, Becerro y Paul 2004, Ridley et al. 2005). En algunos casos estos organismos se encuentran en el coanodermo de la esponja (Margot et al. 2002) en los canales inhalantes (Wilkinson 1978a), en las cámaras coanocíticas (Webster y Hill 2001) y en los embriones (Ereskovsky et al. 2005).

3. Planteamiento del problema

Este estudio pretende hacer una valoración en las fuentes potenciales de alimentación de la especie *Xestospongia subtriangularis* empleando las técnicas de análisis elemental de carbono y nitrógeno además de las abundancias isotópicas de carbono y nitrógeno estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$). A partir de este análisis se espera reconocer y encontrar diferencias en las fuentes potenciales de alimentación tanto en los individuos que habitan en diferentes profundidades como entre las capas de tejido interno y externo que los forman. Se espera que la información obtenida varíe, ya que el enriquecimiento isotópico se modifica durante el ciclo de vida y depende del tipo de dieta, el acumulo de cada elemento en el tejido y la asimilación a lo largo del crecimiento (Hooker et al. 2001). Esta técnica se ha utilizado con la determinación de dietas potenciales en diversos organismos (Fisher et al. 1987, Conway et al. 1992, Hoegh-Guldberg et al. 2004).

De la misma forma se espera reconocer diferencias en las capas, debido a un cambio de coloración de amarillo a guinda reconocidos en *Xestospongia subtriangularis* a éstos cambios en tonalidad se le denominó capa de tejido interno y externo considerando el aislamiento y contacto con el medio, respectivamente.

Diversos autores como Reiswig (1974), Wilkinson y Vacelet (1979), Wilkinson (1983), Ayukai (1995), Hansen et al. (1995) y Belarbi et al. (2003) han planteado la diferencia en composición metabólica y fisiológica en esponjas debida a factores físicos y biológicos. El factor físico que afectaría a los individuos de *Xestospongia subtriangularis* sería el ambiente regido por una laguna arrecifal y el ambiente de la zona oceánica. Por lo tanto se espera reconocer diferencias entre el conjunto de individuos.

Este estudio describirá la concentración de elementos mayores, traza, metales pesados y tierras raras en individuos de *Xestospongia subtriangularis* en muestras obtenidas en condiciones ambientales diferentes de luz, temperatura y características en la columna.

Los análisis que se plantean tienen como objetivo aportar datos y una metodología para hacer un acercamiento a este tipo de organismos debido a que su nutrición es especial y diferente a la de otros metazoarios, ya que además de filtrar, las células pueden nutrirse por fagocitosis y pinocitosis, presentar amplia movilidad dentro

del cuerpo y cambiar de tipo celular debido a su totipotencialidad (Gómez 2002, Brusca y Brusca 2003, Osinga et al. 2003).

4. Objetivos

4.1 Objetivo 1

Reconocer la variabilidad en las fuentes de carbono individuos de *Xestospongia subtriangularis* que habitan en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

4.2 Objetivo 2

Reconocer la variación elemental y de isotopía estable entre la capa de tejido interno y de la capa de tejido externo de *Xestospongia subtriangularis*.

4.3 Objetivo 3

Describir la concentración de elementos en individuos de *Xestospongia subtriangularis*.

4.4 Objetivos particulares

1. Describir las diferencias en la proporción de C:N en cada individuo y en cada una de las capas de tejido.
2. Describir la composición isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ y de $\delta^{15}\text{N}$ en cada individuo y en cada una de las capas de tejido.
3. Describir las concentraciones de elementos: mayores, metales traza, pesados y tierras raras en el conjunto individuos.

5. Hipótesis

1. Los análisis utilizados en este estudio permitirán reconocer la variabilidad entre las fuentes de alimentación de individuos de *Xestospongia subtriangularis*.

2. Se pretende encontrar diferencias entre la capa interna y la capa externa que constituyen a *Xestospongia subtriangularis* con base a cambios en su tonalidad.

3. La concentración de elementos serán similares entre individuos de *Xestospongia subtriangularis* ya que comparten un mismo hábitat.

6. Área de estudio

La parte sur de México pertenece a la región del Caribe, sin embargo, en el Golfo de México los arrecifes se presentan en pequeñas áreas de manera dispersa (Vargas-Hernández et al. 1993). El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) se divide en dos grandes grupos, uno ubicado al noreste, localizado frente al puerto de Veracruz y consiste de siete arrecifes: Gallega, Blanquilla, Hornos, Pajaros, Isla Sacrificios, Isla Verde, y Anegada de Adentro. En la parte sureste, frente a la población de Antón Lizardo se encuentran los arrecifes Giotte, Chopas, Salmedina, Rizo, Enmedio, Cabeza, Anegadilla, Santiaguilla, y Anegada de Afuera (Tunnell 1992).

En la zona arrecifal de Veracruz descargan diferentes ríos y la pluma que producen reduce la visibilidad a pocos decímetros de la superficie, ya que llevan una gran cantidad de sedimentos y contaminantes, debido a la proximidad de la zona urbana e industrial (Jordán-Dahlgren 2002).

6.1 Actividad económica

La ciudad de Veracruz y la zona de Boca del Río se consideran rubros portuario-industrial y de servicios, esto la hace una ciudad con altos problemas ambientales y los principales son los sistemas de desagüe y alcantarillados, ya que no existe un plano exacto de tuberías, pero lo que se sabe es que hay 52 desagües de los siguientes orígenes: aguas negras, residuales, municipales e industriales (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca 2000). El arribo de grandes embarcaciones hace de este puerto un sitio de acumulo de elementos de deshechos desde hace décadas (Rivera y Borges 2006).

6.2 Hidrología

Hay dos ríos que inciden sobre el SAV que son el Papaloapan y el río Jamapa. El río Papaloapan es uno de los tres ríos más importantes del país. Su cuenca es de 39,189 Km² y se extiende en los estados de Oaxaca, Puebla y Veracruz, correspondiendo al primero la mayor parte del área de alimentación. El segundo (río Jamapa) nace en el pico de Orizaba en el estado de Puebla y después de recibir el aporte de los ríos Chavaxtla y Boca del Monte, penetra en el estado de Veracruz al final de su trayecto se unen los ríos Cotaxtla o Atoyac, desembocando en la zona conocida como

Boca del Río, el área de su cuenca es de 3350 km² y su escurrimiento es de 1895 millones de metros cúbicos.

En la zona norte de la región se encuentra el distrito de riego La Antigua y Actopan, que se abastecen de los ríos Jamapa, San Juan Pancaya y Santa María (Pereyra Díaz y Pérez Sesma 2005).

6.3 Isla Verde

6.3.1 Localización geográfica

La Isla Verde se encuentra localizada en la parte noroeste del SAV, (96°04'06" de longitud oeste y los 19°11'50" de latitud norte). Está ubicada a 5.37 km del puerto de Veracruz, cuenta con una extensión de 1450 m de longitud y 750 m en su parte más ancha (Tunnell 1992) (Figura 5).

6.3.2 Características físicas

Es una isla con vegetación, el arrecife es elíptico con una porción emergida en el sur del arrecife con dimensiones de 300 m de largo y 170 m de ancho. La temperatura superficial del agua varía de 23.25 °C de noviembre a mayo hasta de 32 °C en julio y agosto. En la parte de la laguna la temperatura del agua puede tener 35 °C. La salinidad presenta valores de 35 a 38 ‰ y con disminución en el mes de julio debido a las descargas del río Jamapa. La turbidez del agua aumenta en diciembre debido a las tormentas de la temporada. La marea es de tipo mixto, la pleamar superior es de 0.84 m y la bajamar de -0.24 m (UNEP/IUPCN 1988, de la Lanza 1991, Tunnell 1992, Vargas-Hernández et al. 1993).

6.3.3 Estructura del arrecife

El barlovento presenta un sustrato constituido por roca basáltica; la barrera coralina que encierra a la laguna central se interrumpe en la porción Este constituyendo una boca de 50 m, frente a la cual se localiza una fosa de 10 m de profundidad (Tunnell 1992). Las comunidades que se distinguen en Isla Verde son: la zona de la orilla sobresaliente dominada por el alga *Padina*, la comunidad de *Thalassia testudinum* König, protegida de sustrato arenoso y algas verdes. La plataforma arrecifal, la cual tiene una superficie irregular y una profundidad máxima de 2 m donde dominan

Diploria clivosa, *Porites furcata* y algunas *Montastraea cavernosa* y *M. annularis* y el borde coralino del lado noreste-este, el cual sobresale en forma aparente por el denso crecimiento de coral vivo de octocorales y *Acropora palmata*, *A. prolifera*, *A. cervicornis* y *D. clivosa* (UNEP/IUPCN 1988, Mateo-Cid et al. 1996). El sustrato del arrecife está conformado por sedimentos calcáreos provenientes de los corales madreporianos (Emery 1963).



Figura 5 Isla Verde (recuadro en rojo) en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), Golfo de México. Tomada de <http://www.massachusetts.edu/index> 2008

7. Materiales y Métodos

7.1 Trabajo de campo

7.1.1 Colecta

Los ejemplares de *Xestospongia subtriangularis* provienen de la laguna arrecifal y del talud arrecifal en la zona oceánica de Isla Verde, Veracruz (Figura 6). Las profundidades de colecta fueron desde 0.40 hasta 8 m. La recolecta se realizó por medio de buceo autónomo, con apoyo de los M. en C. Joel Ortega Ortiz y Alberto Delgado Estrella, quienes escogieron los especímenes al azar. El exceso de sedimento se eliminó con agua de mar *in situ*, se colocaron en bolsas de plástico rotuladas y en hielo seco para el traslado a Ciudad Universitaria. *Xestospongia subtriangularis* es una especie abundante en el SAV. Esta esponja se considera dominante y algunos de los valores de densidad son de 0.32 esponjas m² a 0.042 esponjas m² (Vázquez 1998).

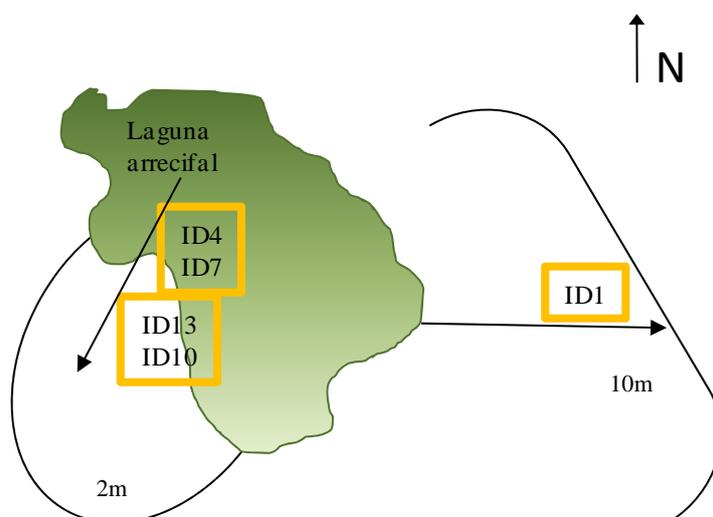


Figura 6 Esquema de la recolecta en Isla Verde, Veracruz en la laguna arrecifal y la zona oceánica.

De la laguna arrecifal se obtuvieron cuatro especímenes y de la zona oceánica se tomó un espécimen. Los datos de campo que se registraron dan una breve descripción del hábitat a partir de valores de profundidad, temperatura, presencia o ausencia de la termoclina y el tipo de sustrato sobre el que se encontró la esponja (Tabla 6).

Tabla 6 Clave de los especímenes y características de la recolecta. La presencia de la termoclina se evaluó con un 1 y la ausencia con un 0.

Sitio de recolecta	Profundidad (m)	Identificación de los individuos	Temperatura superficial (°C)	Termoclina (1 / 0)	Sobre sustrato
Laguna arrecifal					
	0.4	ID4	No fue registrada	0	Roca y <i>Halimeda</i>
	0.4	ID7	30	0	Conchas de bivalvos, roca y coral
	0.5	ID13	30	0	Coral y <i>Halimeda</i>
	1.7	ID10	27	1	Roca y coral
Océano					
	8	ID1	28-29	1	Coral muerto y roca

7.2 Trabajo de laboratorio

7.2.1 Reidentificación

La reidentificación de *Xestospongia subtriangularis* (Duchassaing 1850) se llevó a cabo con la ayuda de la Bióloga Patricia Gómez, algunas de las características importantes fueron las siguientes:

El tamaño, la forma, el color *in vivo* y el color cuando está fijada, la consistencia, la reticulación y las espículas. Además de la descripción del ectosoma y del coanosoma.

Tamaño: La longitud de las ramas fue de 20 a 60 cm de largo con un diámetro de entre 2 y 5 cm.

Forma: La forma es masiva con ramas tubiformes rastreras y ramas superiores anastomosadas y contorsionadas (Green 1977) (Figura7).

Color: *in vivo* es de color amarillo ocre a guinda, presenta algunas pequeñas zonas verdosas, debido a la presencia de algas en su interior y hacia la periferia de las ramas. Después de permanecer fijado el color es marrón claro (Figura 7)

Ósculos: Se observan en protuberancia en la parte superior de las ramas y con un diámetro de 1 a 3 mm (Hooper 2002).

Consistencia: no compresible, resistente al corte y se fractura con facilidad, superficie lisa y áspera al tacto (Figura 7).

Ectosoma: reticulación isotrópica de mallas poligonales constituido por tractos pluriespiculares de 120 a 250 μm de diámetro, completamente empacados de espículas, que forman mallas circulares de 240 a 360 μm de abertura (Hooper 2002) (Figura 8a-b).

Coanosoma: presenta tractos pluriespiculares de hasta 20 hileras de espículas y mallas circulares. Tractos ascendentes de 51 a 72 μm de diámetro (Hooper 2002) (Figura 8a-b).

Espículas: principalmente óxeas con variación a estrongiles y estiles (Green 1977) 118-195 x 6-15 μm (Figura 9 a-b).



Figura 7 Imágenes de la esponja *Xestospongia subtriangularis* (Duchassaing 1850), después de permanecer fijada

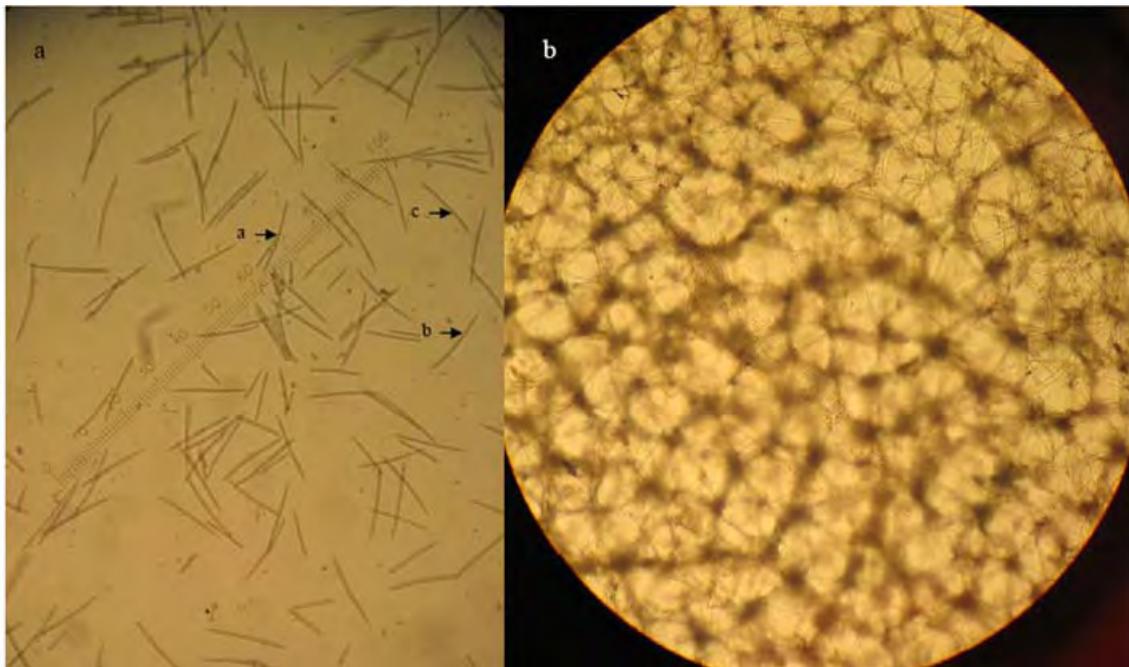


Figura 8a-b Espículas de *Xestospongia subtriangularis*: a óxeas, b estile, c estrongile. b ectosoma Ocular 10x

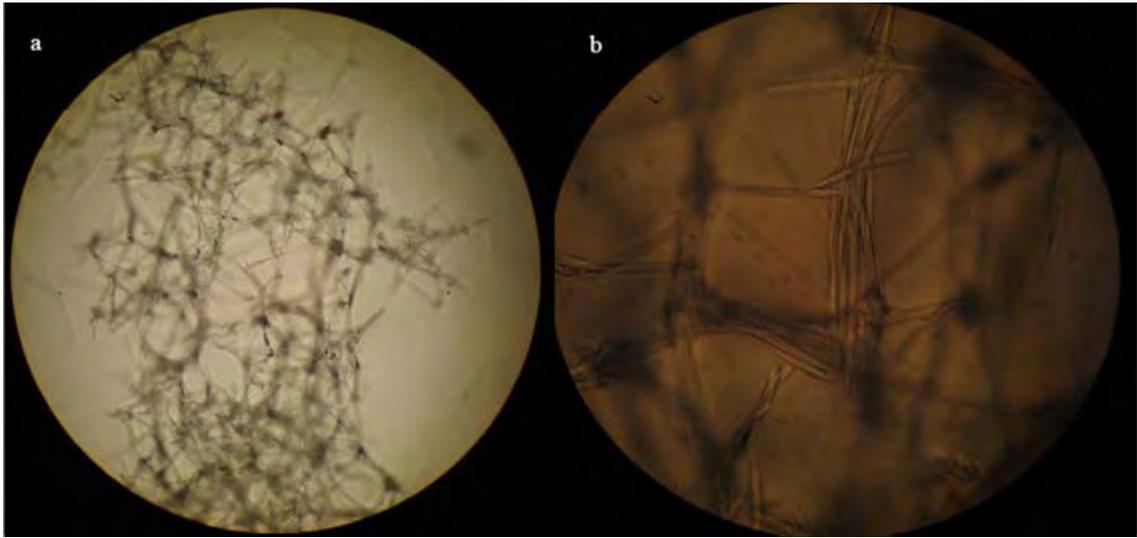


Figura 9a-b Reticulación del coenosoma en *Xestospongia subtriangularis*. a ocular 10x. b reticulación del coenosoma, ocular 40x

7.3 Orígenes de las Muestras: Individuo y Capas de tejido interno y externo.

Las muestras denominados individuos tuvieron como origen toda una ramificación de la esponja de donde se obtuvieron tres secciones de 1cm^3 de las partes basal, media y apical, a diferentes profundidades de la ramificación, el total de los fragmentos analizados fue de 15 (Figura 10a). Las muestras denominadas capas de tejido interno y externo fueron (capas) fueron tomadas con base un cambio en coloración, de guinda o vino a amarillo ocre respectivamente y que en esta tesis se consideró la capa de aislamiento y la de contacto con el medio (Figura 10b). El volumen de estas muestras también fue de 1cm^3 .

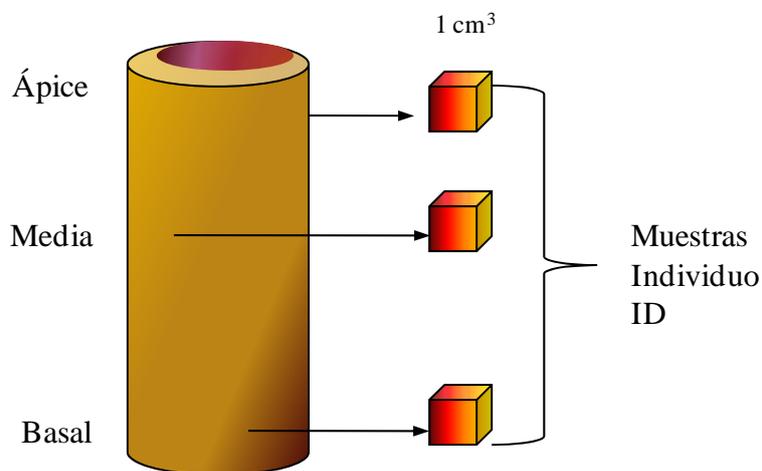


Figura 10a Esquema del origen de las muestras denominadas Individuo (ID) de especímenes de *Xestospongia subtriangularis*.

A continuación se esquematiza el método con el que se obtuvieron las muestras denominadas capas de tejido interno y externo.

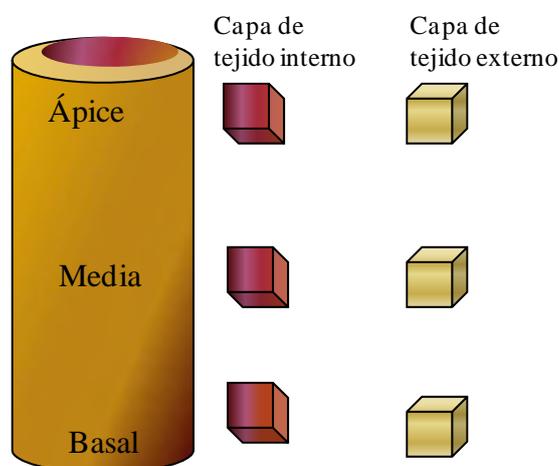


Figura 10b Esquema del origen de las muestras denominadas capa de tejido interno y capa de tejido externo de especímenes de *Xestospongia subtriangularis*

La liofilización y maceración con un mortero de ágata se realizó para las muestras de análisis elemental y el análisis de elementos mayores y traza. Solo para el análisis de isotopía estable las muestras no se liofilizaron y se secaron únicamente en una campana de extracción a temperatura ambiente.

Con las muestras de individuo (ID) se realizaron los siguientes análisis: elemental de carbono y nitrógeno orgánicos, isotopía estable de carbono y nitrógeno, elementos: mayores, traza, metales pesados y tierras raras. Mientras que para las muestras denominadas capa de tejido interno y externo (capas) se realizaron los análisis siguientes: elemental de carbono y nitrógeno orgánicos, isotopía estable de carbono y nitrógeno y de elementos mayores.

7.4 Análisis Elemental (EA) de carbono y nitrógeno orgánicos

Una vez depositadas las muestras en una cápsula de estaño, el proceso del análisis elemental comienza cuando las muestras son purgadas con el gas acarreador He. Después son liberadas a intervalos diferentes de tiempo dentro de la columna de cuarzo a 1020 °C. En cuanto son liberadas las muestras en la columna de He se enriquece con oxígeno puro para obtener la combustión instantánea. Los gases obtenidos de la

combustión pasan por una capa de Cu que remueve el excedente de oxígeno y reduce los óxidos de nitrógeno y nitrógeno elemental. La mezcla resultante es dirigida a la columna cromatográfica donde los componentes individuales son separados y expresados como N₂, CO₂ y H₂O. A partir de un detector de conductividad térmica los datos son enviados a la estación de trabajo en donde los valores se expresan en porcentaje de peso de muestra analizada con relación a los estándares utilizados (Banse 1974, Rhee 1978, Wetzel 1982). Para determinar el contenido de C orgánico (%C_{org}) y el N orgánico (%N_{org}) de *Xestospongia subtriangularis* se utilizó un analizador elemental EA 1108 Fisson.

7.5 Análisis de Isotopía Estable de carbono y nitrógeno $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$

El análisis de isotopía estable es recomendable realizarlo inmediatamente después de haber obtenido la muestra, sin embargo puede permanecer congelada de -20 °C a -80 °C (DeNiro y Epstein 1978), sin conservadores orgánicos ya que éstos últimos empobrecen los valores isotópicos (Walker et al. 1999). La cantidad aproximada requerida fue 5 mg, valor que se encontró en función del contenido de carbono (Hooker et al. 2001). El procesamiento posterior a la colecta fue similar al de tejido duro (hueso, dientes y caparzones) requiriendo primero, limpiarla de impurezas externas con agua destilada con 5 lavados (Walker et al. 1999). Posteriormente se secaron las muestras a temperatura ambiente y se homogenizaron, enseguida se acidificó con HCl diluido al 40% por 24 horas. La acidulación se hizo a partir de vapores, hasta que los carbonatos desaparecieron, ya que el $\delta^{13}\text{C}$ de carbonatos está enriquecido con respecto al carbono orgánico (Fry y Sherr 1984). Cada muestra se lavó nuevamente con agua destilada, se secó a 60 °C y finalmente se colocó en cápsulas de estaño para el análisis isotópico en el espectrómetro de masas el cual tiene una precisión de 0.1‰ para el carbono y de 0.3‰ para el nitrógeno (Walker et al. 1999).

Las abundancias naturales de ^{13}C y ^{15}N se expresaron con la notación estándar δ .

$$\delta\chi_n = 1000 \times [(R_{\text{muestra}} - R_{\text{estándar}}) / R]$$

Donde $R = X_n / X_{n-1}$ se expresa por mil (‰) relativo al estándar de carbón PDB y el nitrógeno atmosférico N₂ para el nitrógeno (Fry y Sherr 1984).

7.6 Análisis de elementos

Para estos análisis, las muestras requirieron ser maceradas en un mortero de ágata. Cada muestra se trituró hasta que el tamaño de la partícula fuera menor a 100 μm . Después, se calcinaron a 900 °C en crisoles de porcelana para quitar cualquier rastro de material orgánico.

La composición química de la esponja fue determinada por la difracción de rayos x usando un espectrómetro secuencial Siemens SRS 3000 con un tubo de Rh como ánodo para la fuente. El funcionamiento siguió la metodología de calibración directa en condiciones normales y se realizó en concentraciones de fluorescencia de 25 materiales (Lachance-Traill 1966). El análisis XRF siguió la metodología de una muestra geológica (Norrish y Hutton 1969) los elementos obtenidos se encuentran como óxidos, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , Na_2O y P_2O_5 sin embargo por cuestiones prácticas en esta tesis se enuncian únicamente como el elemento de interés: Si, Al, Fe, Ca, K, Na y P.

Para el análisis de elementos mayores se utilizó el residuo de calcinación del que se pesó 1 g y se mezcló con 9 g de una mezcla 1:1 de $\text{LiBO}_2/\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$. Esto se fundió dentro del crisol a 1050 °C. Los análisis de elementos mayores se llevaron a cabo para cada uno de los especímenes formando *pellets* para ser calcinados. La composición de elementos mayores se reporta aquí como % en la connotación convencional.

La detección de elementos traza, metales pesados y tierras raras se realizó con un espectrómetro ICPMS Agilent 7500 con un sistema de reacción de octopolo (Octopole Reaction System, ORs) para la eliminación de interferencias poliatómicas en elementos críticos como As, Se, Cr, V y Fe. Este sistema utilizó gases de He y H_2 . Este análisis permitió la determinación de más de 40 elementos traza en cada muestra. Las muestras se trataron según la metodología de Eggins et al. (1997). Las concentraciones de los elementos traza se registraron en $\mu\text{g g}^{-1}$. Las muestras se analizaron en paralelo con 4 materiales de referencia (BHVO-1, RGM-1, GSR-2 y SDO-1) utilizando los valores reportados por Govindaraju (1994), que permiten mejorar la precisión y exactitud de la metodología descrita por Eggins et al. (1997). Con el fin de verificar la consistencia geoquímica de los resultados, las concentraciones de elementos de tierras raras (REE) normalizadas a condrita, se realizaron utilizando los valores reportados por McDonough y Sun (1995).

7.7 Estadísticos

A los datos obtenidos de *Xestospongia subtriangularis* se les realizaron las siguientes pruebas estadísticas. Para determinar las diferencias entre los individuos se utilizó un Análisis de Varianza (ANOVA $p=0.05$) en el análisis elemental y en el análisis de isotopía estable. Para determinar las fuentes potenciales de alimentación consumidas por individuos y en las capas de esta especie se realizaron correlaciones entre los valores de isotopía estable de carbono y nitrógeno $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Para determinar el origen de las fuentes potenciales se realizaron correlaciones entre los valores de isotopía estable de carbono $\delta^{13}\text{C}$ y la proporción C:N tanto como para individuos como para las capas.

Para determinar diferencias entre las capas: externa e interna, tomando en cuenta los valores de C_{org} , N_{org} y de isotopía estable de carbono y nitrógeno $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ y elementos mayores reconocidos en *Xestospongia subtriangularis* se realizó una prueba de hipótesis de valores medios conocidos utilizando una prueba t-student (Daniel 2002).

Para la descripción de los elementos mayores se realizaron gráficos de rangos con intervalos de confianza de 0.95 de cada uno de los elementos. Para la descripción de la serie de los lantánidos se realizó una gráfica de concentraciones normalizadas de tierras raras. El programa utilizado para los estadísticos fue Statistica 7.

8. Resultados por Individuo

8.1 Análisis Elemental (AE)

8.1.1 Contenido de carbono orgánico (C_{org})

El contenido de C_{org} , expresado en % de peso seco, encontrado en los individuos de *X. subtriangularis* presentaron un intervalo de 16.8 a 13.3% con una variación de 3.5% entre el valor máximo y mínimo. El valor promedio fue de 14.5% con una desviación estándar de 1.1 % (n=15, Tabla 7). El contenido de C_{org} para el individuo ID13 fue de 1.7%, superior al valor promedio (Tabla 7 y 7a). Los individuos ID13 e ID10 presentaron diferencias significativas (ANOVA F= 27.680, p= 0.00002) con respecto a los demás (Figura 11).

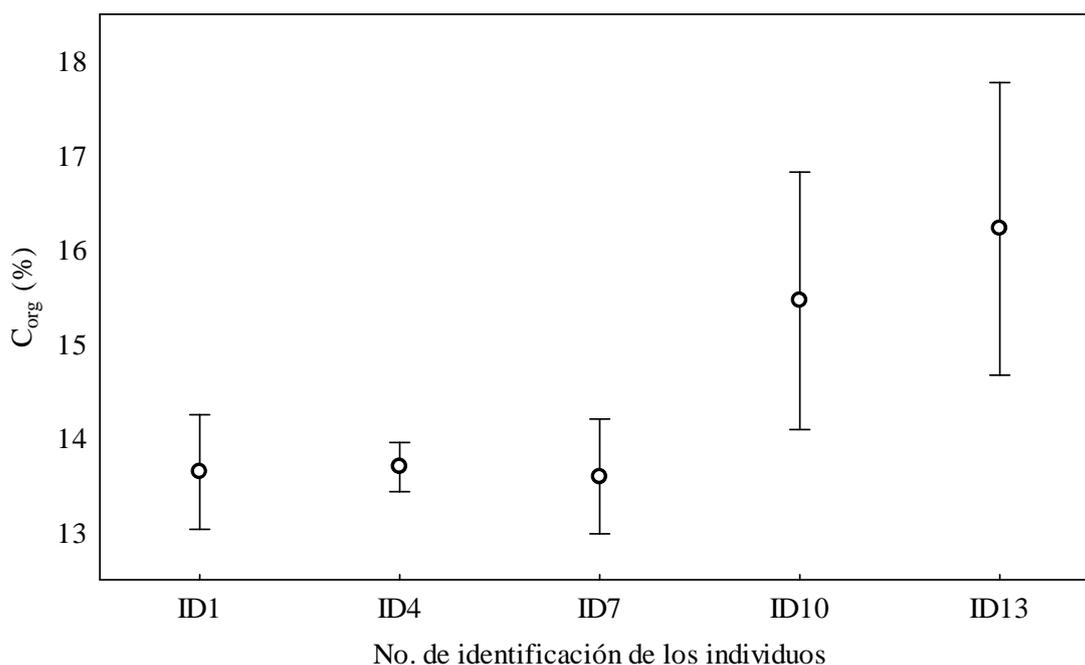
Tabla 7 Contenido de carbono y nitrógeno orgánicos (C_{org} y N_{org}) y de la proporción C:N en el conjunto de individuos de *Xestospongia subtriangularis* recolectados en Isla Verde, Veracruz los valores se expresan en porcentaje de peso seco (%)

	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est.
C_{org}	15	14.5	13.3	16.8	1.1
N_{org}	15	3.9	3.2	5.0	0.4
C:N	15	3.7	2.9	4.2	0.2

Tabla 7a Contenido promedio de C_{org} y N_{org} (%) y de la proporción C:N en cada uno de los individuos de *X. subtriangularis* recolectados en Isla Verde, Veracruz

Muestra	Profundidad	Contenido organico (%)		
Individuo	(m)	C	N	C:N
ID4	0.40	13.7	3.7	3.6
ID7	0.40	13.6	3.3	4.0
ID13	0.50	16.2	4.3	3.6
ID10	1.70	15.4	4.4	3.4
ID1	8.0	13.6	3.7	3.6

F(4, 10)=27.680, p=.00002

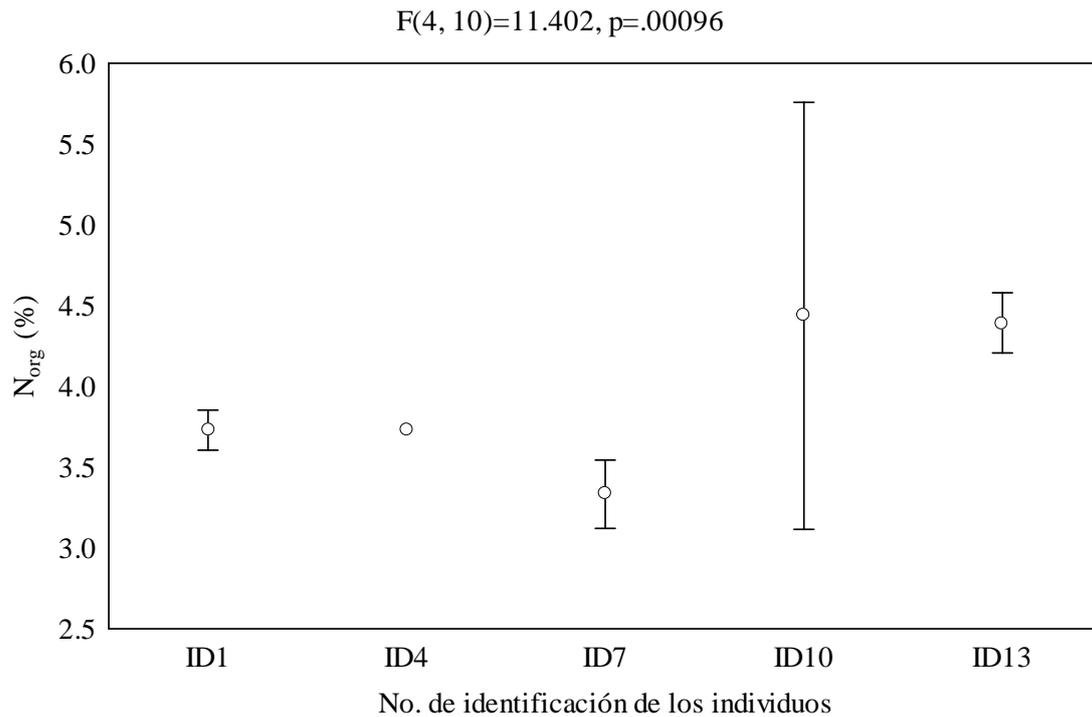


Las barras verticales muestran intervalos de 0.95 de confianza

Figura 11 Variación en la concentración de C_{org} (valores expresados en % de peso seco) en individuos de *X. subtriangularis* recolectados en Isla Verde, Veracruz

8.1.2 Contenido de nitrógeno orgánico (N_{org})

El contenido de nitrógeno orgánico (N_{org}), expresado en porcentaje (%) de peso seco, determinado en los individuos de *Xestospongia subtriangularis* presentó una amplitud de 5.0 a 3.2 % con variación de 1.8 % entre el valor máximo y mínimo. El valor promedio fue de 3.9 % con una desviación estándar de 0.48 % (n=15) (Tabla 7). El individuo ID10 tuvo un valor superior por 0.5 % al promedio (Tabla 7 y 7a). Se reconocieron diferencias significativas para los individuos ID13 y 10 (ANOVA F= 27.680, p= 0.00096) con respecto a los individuos ID 1, ID 4, y 7 (Figura 12).



Las barras verticales muestran intervalos de 0.95 de confianza

Figura 12 Variación de la concentración de N_{org} (valores expresados en % del peso seco) en individuos de *X. subtriangularis* recolectados en Isla Verde, Veracruz

8.1.3 Proporción carbono: nitrógeno (C:N)

Los valores de la proporción C:N en *Xestospongia subtriangularis* variaron entre 4.2 y 2.9 reconociéndose una diferencia de 1.3 entre el valor máximo y mínimo. El valor promedio fue de 3.7 con desviación de 0.28 ($n=15$) (Tabla 7). En el individuo ID7 la proporción C:N fue superior por 0.3% al valor promedio (Tabla 7 y 7a). No existieron diferencias significativas.

8.2 Análisis de Isotopía Estable

8.2.1 Análisis del isótopo de carbono ($\delta^{13}\text{C}$)

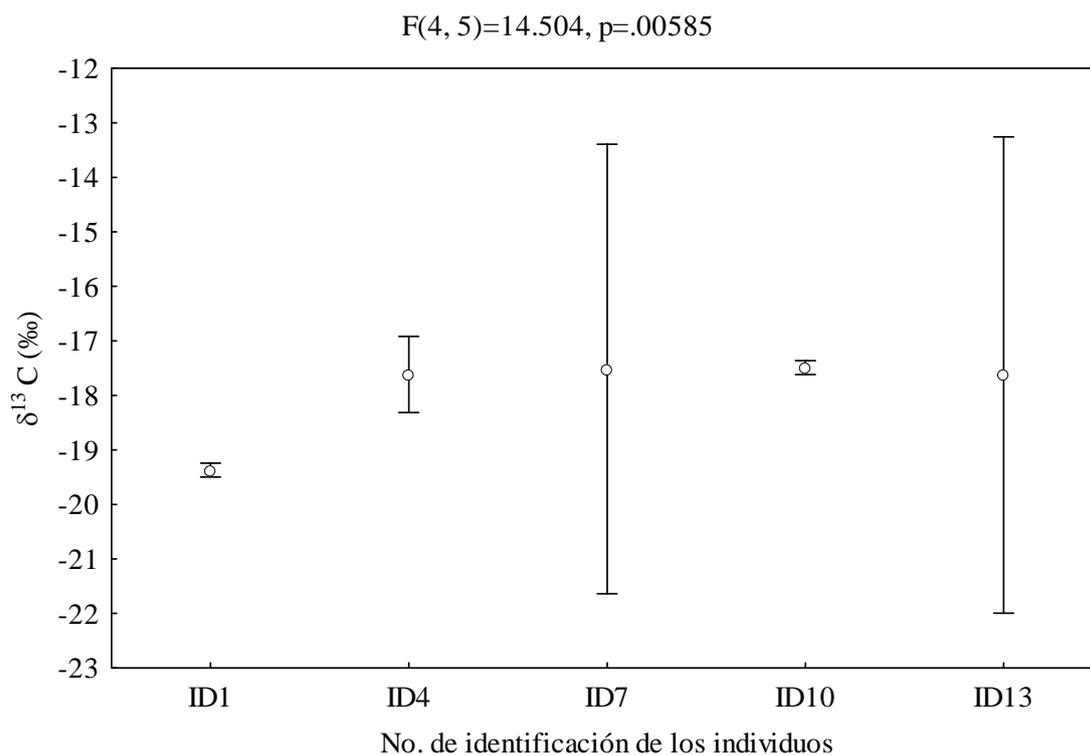
Los valores $\delta^{13}\text{C}$ reconocidos en los individuos de *X. subtriangularis* fueron de -17.19 ‰ a -19.38 ‰ teniendo variación de -2.19 ‰ entre el valor mínimo y máximo, el valor promedio fue de -17.92 ‰ y desviación estándar de 0.80 ‰ (n= 10) (Tabla 8). El individuo ID10 presentó enriquecimiento de 0.43‰ al valor promedio (Tabla 8 y 8a). El individuo ID1 presentó diferencias significativas con respecto a los individuos ID 4, 7, 13 10 (ANOVA F= 14.504, p= 0.00585) (Figura 13).

Tabla 8 Descripción de la abundancia $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (valores expresados en ‰) en el conjunto de individuos de *Xestospongia subtriangularis* recolectados en Isla Verde, Veracruz

	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est.
$\delta^{13}\text{C}$	10	-17.92	-19.38	-17.19	0.80
$\delta^{15}\text{N}$	10	6.55	6.14	6.98	0.29

Tabla 8a Contenido promedio de la abundancia $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (valores expresados en ‰) en cada uno de los individuos de *X subtriangularis* recolectados en Isla Verde, Veracruz

Muestra	Profundidad	Valores isotópicos	
Individuo	(m)	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
ID4	0.40	-17.61	6.85
ID7	0.40	-17.51	6.42
ID13	0.50	-17.62	6.46
ID10	1.70	-17.49	6.49
ID1	8.0	-19.37	6.50



Las barras verticales muestran intervalos de 0.95 de confianza

Figura 13 Variación en $\delta^{13}\text{C}$ en cada uno de los individuos de *X. subtriangularis* recolectados en Isla Verde, Veracruz

8.2.2 Fraccionamiento del isótopo de carbono ($\Delta\delta^{13}\text{C}$)

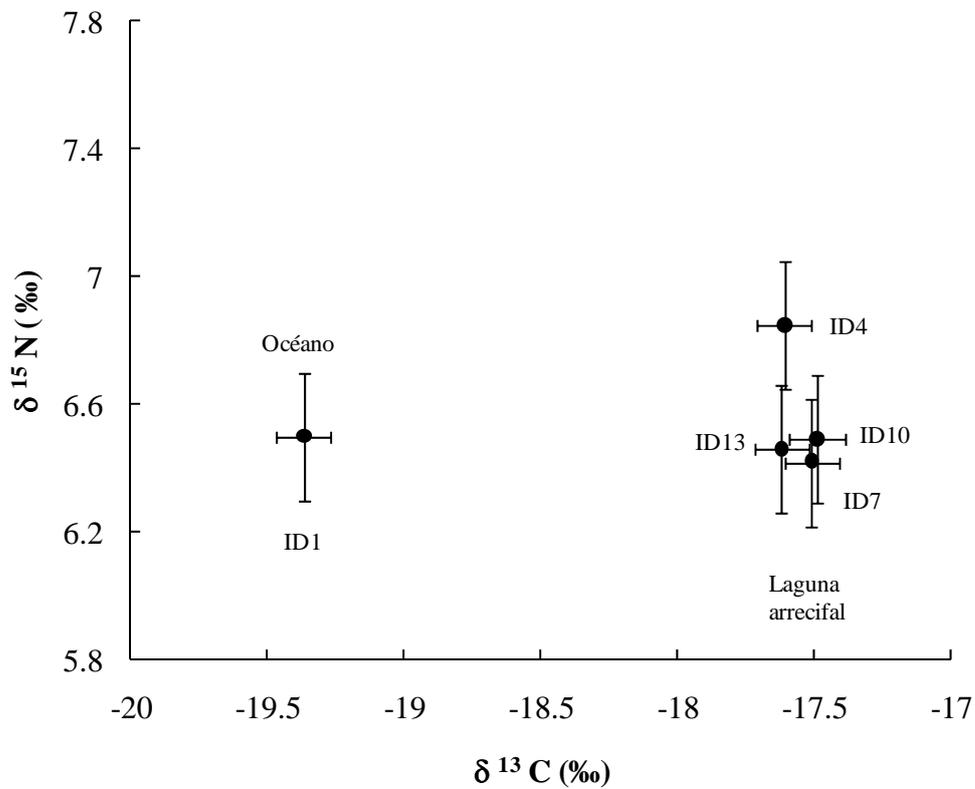
Con base a la fórmula de Hayes (1993) $\Delta_{A/B} = \delta_A - \delta_B$ en donde δ_A corresponde al valor del MOP ($\delta^{13}\text{C}$ 21.3‰) y δ_B al promedio de *Xestospongia subtriangularis* el fraccionamiento fue de 3.4‰ $\delta^{13}\text{C}$.

8.2.3 Análisis del isótopo de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$)

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ reconocidos en los individuos de *X. subtriangularis* fueron de 6.98 a 6.14 ‰ teniendo variación de 0.84 entre el valor mínimo y máximo, el valor promedio fue de 6.55 ‰ y desviación estándar de 0.29 ‰ (n= 10) (Tabla 8). El individuo ID4 presentó enriquecimiento de 0.3‰ al valor promedio (Tabla 8 y 8a). No existieron diferencias significativas entre los individuos recolectados.

8.2.4 Relación de $\delta^{15}\text{N}$ contra $\delta^{13}\text{C}$

En la relación de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ se reconoció que los individuos se agregaron en dos grupos: los individuos de la laguna arrecifal y el de la zona oceánica (Figura 14). Estos dos grupos están diferenciados por los valores de $\delta^{13}\text{C}$. Todos los individuos presentan valores similares de $\delta^{15}\text{N}$. Sin embargo los valores en $\delta^{13}\text{C}$ indican que probablemente el origen de sus constituyentes no es el mismo con una variación de casi 2 ‰.

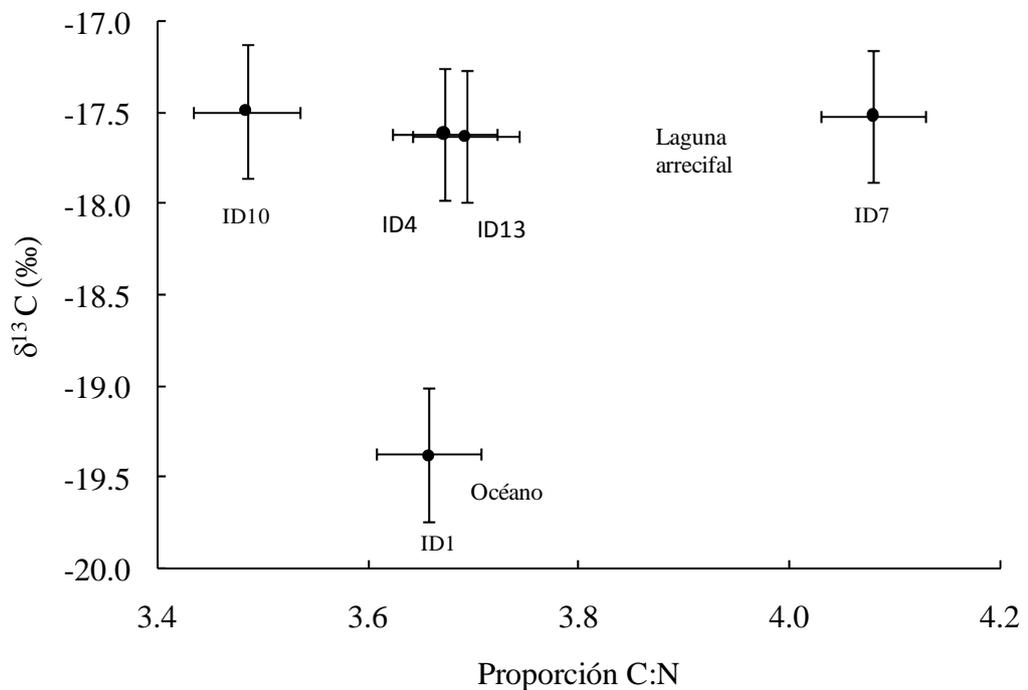


Las barras indican las desviaciones estándar.

Figura 14 Relación de $\delta^{15}\text{N}$ contra $\delta^{13}\text{C}$ en individuos de *X. subtriangularis* recolectados en Isla Verde, Veracruz

8.2.5 Relación de $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N

Los ID 10, 4 y 13 tuvieron proporciones similares C:N y $\delta^{13}\text{C}$. Se aprecian los dos grupos, el de laguna arrecifal y el del océano, sin embargo el ID7 se encuentra separado de ambos grupos. La relación $\delta^{13}\text{C}$ y la proporción C:N permitió reconocer que los ID 10,4,13 y 7 se encuentran entre -17.5‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ mientras que el ID1 tiene valor enriquecido en 2‰ . Todos los individuos se encuentran en un intervalo menor a 1 en la proporción C:N (Figura 15).



Las barras indican las desviaciones estándar.

Figura 15 Relación de $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N en individuos de *X. subtriangularis* recolectados en Isla Verde, Veracruz.

8.2.6 Nivel trófico y fraccionamiento del isótopo de nitrógeno ($\Delta\delta^{15}\text{N}$)

Para confirmar el nivel trófico *Xestospongia subtriangularis* se utilizó la siguiente fórmula 1 (Peterson y Fry 1987; Vander Zanden y Rasmussen 2001):

$$NT = 2 + \left(\frac{\delta^{15}N_{GT} - \delta^{15}N_{CP}}{3.4} \right)$$

En donde:

$\delta^{15}N_{GT}$: valor isotópico promedio del organismo de interés: $\bar{x} \delta^{15}\text{N} = 6.55\text{‰}$
(Tabla 12)

$\delta^{15}N_{CT}$: valor del productor primario: $\bar{x} \delta^{15}\text{N}$ del NOP = 5.8‰ (Michener y Shell 1994)

El valor obtenido para el nivel trófico de la esponja fue de 2.22‰, mientras que el fraccionamiento de la esponja fue de 0.75‰ $\delta^{15}\text{N}$ con base a la fórmula 2.

9. Resultados por capas

9.1 Análisis Elemental (AE)

9.1.2 Contenido de carbono orgánico (C_{org})

La composición en el C_{org} entre la capa interna y la capa externa presentó diferencias significativas (Valor de t-student $p=0.005$; $n=15$) (Figura 16). Los valores medios fueron de 13.13% y de 14.99 % para la capa interna y externa respectivamente (ANEXO 2.2 y 2.3).

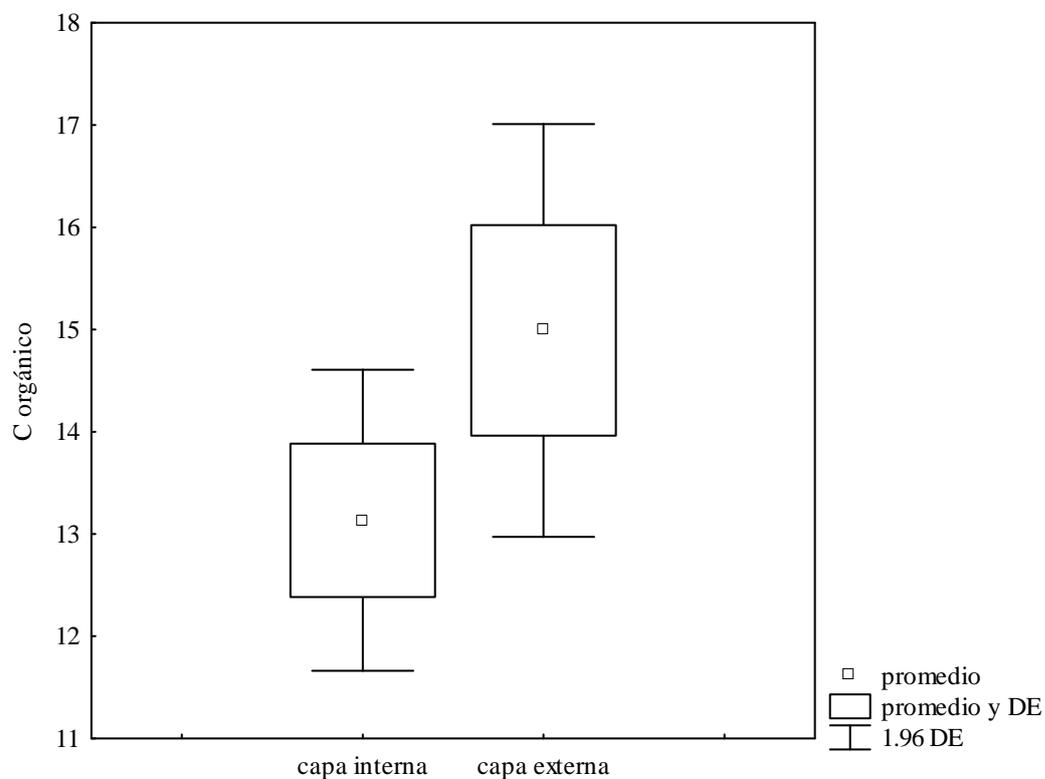


Figura 16 Análisis de variación t-student entre los valores de C_{org} de la capa externa e interna de *Xestospongia subtriangularis* de la Isla Verde, Veracruz

9.1.3 Contenido de nitrógeno orgánico (N_{org})

Los valores de N_{org} no presentaron diferencias significativas entre la capa interna y externa; los valores de las medias fueron de 3.8 y 3.43%, respectivamente. La capa interna presentó una amplitud de variación de 0.09% entre sus datos y desviación de 0.29 % mientras que para la externa la amplitud fue de 3.42 y la desviación fue de 0.80 %.

9.1.4 Proporción carbono: nitrógeno (C:N)

La relación C:N no mostró diferencias significativas entre capas. Los valores promedio fueron de 3.84 y 4.00 en la capa interna y externa, respectivamente. Los valores de la capa interna presentaron una desviación estándar menor a las de la capa externa con valores de 0.19 y 2.7, respectivamente (Anexo 2.2 y 2.3).

9.2 Análisis de Isotopía Estable

9.2.1 Análisis del isótopo de carbono ($\delta^{13}C$)

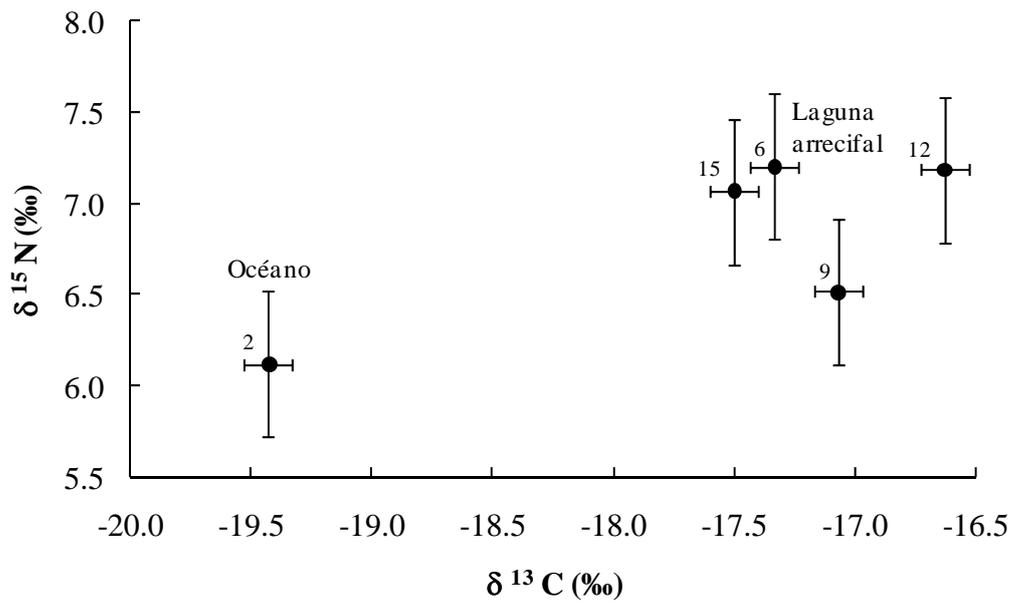
Los valores de isotopía de estable de ^{13}C no mostraron diferencias significativas entre la capa interna y la externa. Los valores medios fueron de -17.59‰ y de -17.68‰ para la capa interna y externa respectivamente. Las desviaciones estándar de las capas fueron de 0.11 y de 0.19‰, respectivamente (Anexo 2.2 y 2.3).

9.2.2 Análisis del isótopo de nitrógeno ($\delta^{15}N$)

Los valores de isotopía de estable de ^{15}N no mostraron diferencias significativas entre la capa interna y la capa externa. Los valores medios fueron de 6.82‰ para la capa interna y de 6.79‰ para la capa externa. Las desviaciones estándar de las capas fueron de 0.45 y 0.36‰, respectivamente (Anexo 2.2 y 2.3).

9.2.3 Relación de $\delta^{15}\text{N}$ contra $\delta^{13}\text{C}$ de la capa interna

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ muestran la presencia de dos grupos en las capas internas. El grupo de la laguna arrecifal que se encuentran entre -16.5 y -17.5‰ de $\delta^{13}\text{C}$ y de 6.4 a 7.2‰ en $\delta^{15}\text{N}$. Y el individuo de la zona oceánica con valores de -19.5 para ^{13}C y 6.4 para ^{15}N (Figura 17).

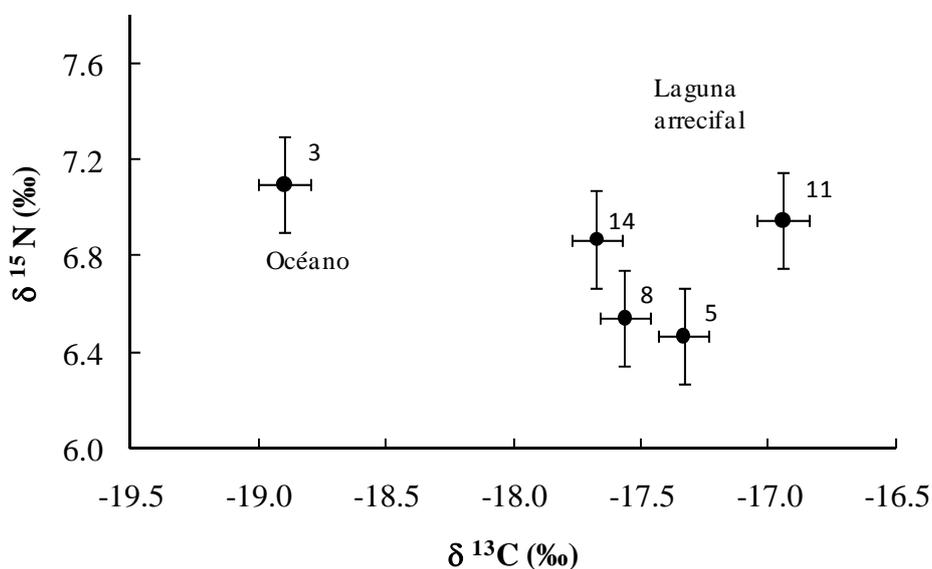


Las barras indican las desviaciones estándar.

Figura 17 Relación de $\delta^{15}\text{N}$ contra $\delta^{13}\text{C}$ de la capa interna de *X. subtriangularis* de la Isla Verde, Veracruz.

9.2.4 Relación de $\delta^{15}\text{N}$ contra $\delta^{13}\text{C}$ de la capa externa

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ y $\delta^{13}\text{C}$ muestran la presencia de dos grupos entre las capas externas. El grupo de capas de la laguna arrecifal tienen valores similares entre sí y el de la zona oceánica que se encuentra enriquecido en $\delta^{15}\text{N}$ con respecto a los de la laguna arrecifal en aproximadamente 0.2‰ y empobrecido 2‰ en $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 18).

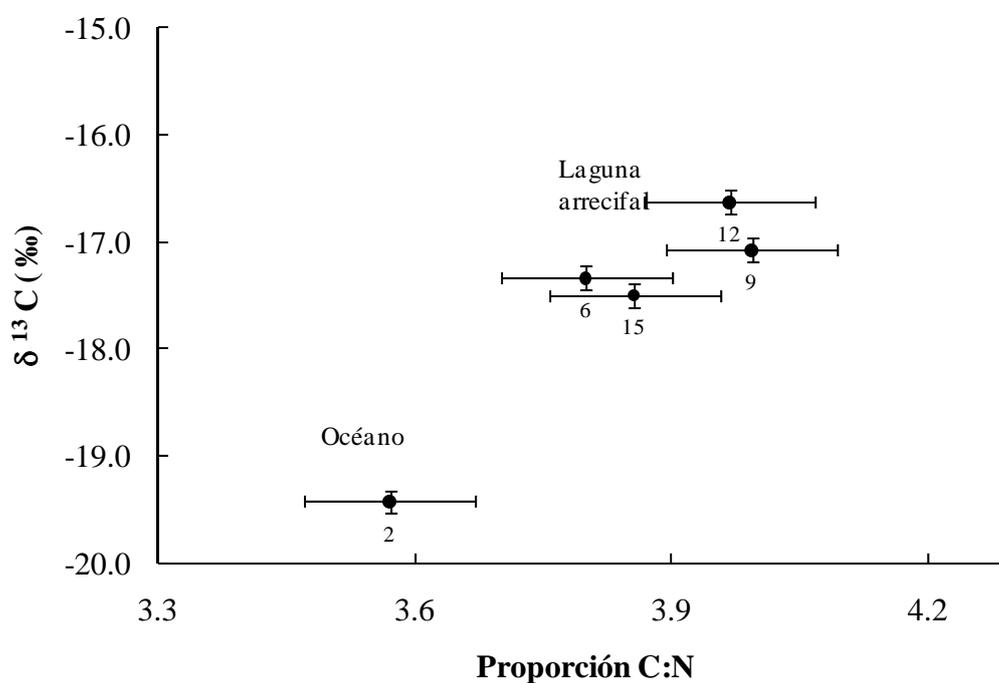


Las barras indican las desviaciones estándar.

Figura 18 Relación de $\delta^{15}\text{N}$ contra $\delta^{13}\text{C}$ de la capa externa de *X. subtriangularis* de la Isla Verde, Veracruz.

9.2.5 Relación de $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N de la capa interna

La relación entre la composición isotópica estable $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N reconoció que cuatro de los cinco valores (capas 6,9,12,y 15) se encontraron entre -17.5 y -16.5‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ correspondiente para los individuos de la laguna arrecifal. En la proporción C:N se observa que el intervalo de valores es menor a 1, para todas las capas. Solamente la capa 2 está empobrecida con -19‰. La correlación entre los datos fue positiva con $r^2=0.89$ (Figura 19).



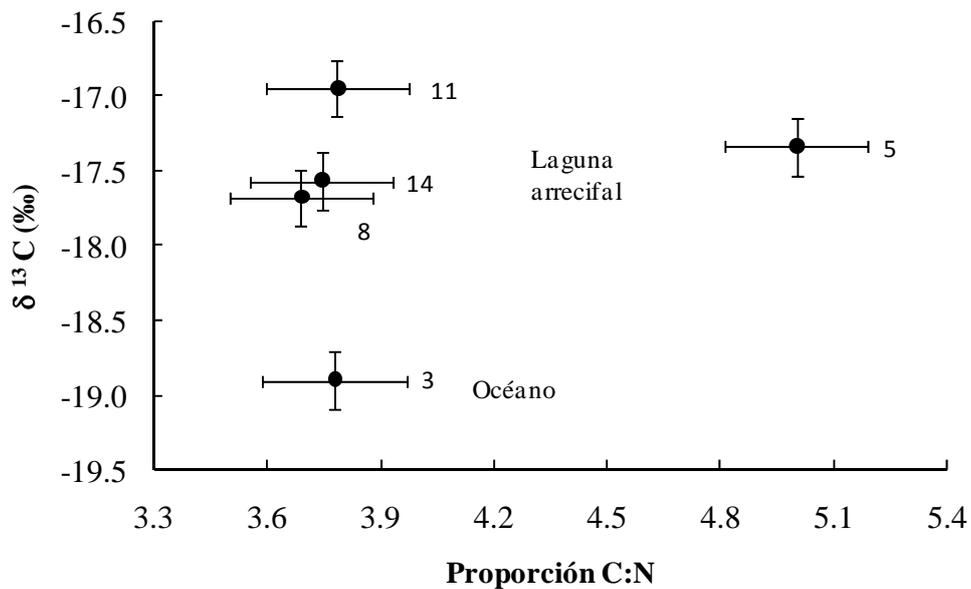
$r^2=0.89$

Las barras indican las desviaciones estándar.

Figura 19 Relación de $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N de la capa interna de *X. subtriangularis* de Isla Verde, Veracruz.

9.2.6 Relación de $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N de la capa externa

Las capas externas de la laguna arrecifal, en la relación isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ se presentaron con valores entre -17.0 y -18.0 ‰. Las capas 3,8,11 y14 tuvieron valores entre 3.6 y 3.8 para la C:N. Solo la capa5 tuvo valor de 5 en C:N, recolectada a una profundidad de 0.40 m (Figura 20). La capa de la zona oceánica estuvo empobrecida en $\delta^{13}\text{C}$ 2‰ con respecto a las de la laguna arrecifal.



Las barras indican las desviaciones estándar.

Figura 20 Relación de $\delta^{13}\text{C}$ contra C:N de la capa externa de *X. subtriangularis* de Isla Verde, Veracruz

9.3 Análisis de elementos mayores

La concentración de elementos mayores por capas no mostró diferencias significativas una vez realizadas las pruebas t- student para cada uno de los elementos. En este apartado se hace una breve descripción de los valores de cada uno de los elementos mayores reconocidos para las dos capas, los cuales pueden ser corroborados en los ANEXOS 2.2 y 2.3.

El silicio tuvo valores medios de 82.34% en la capa externa y en la capa interna de 84.44 % donde no se encontraron diferencias significativas.

El sodio tuvo valores medios de 4.81 en la capa externa y 5.10% en la interna y desviaciones estándar de 1.11 y 1.33%. Sin reconocerse diferencias significativas.

El potasio tuvo valores medios en la capa externa e interna de 0.63 y 0.72% respectivamente. Tampoco hubo diferencias significativas en la concentración de este elemento.

El calcio tuvo valores promedio de 4.49 y 3.37% en la capa externa y interna respectivamente.

El fósforo presentó valores medios de 0.81 y de 0.75% en la capa externa e interna sin encontrarse diferencias significativas.

El hierro tuvo valores promedio de 0.19 y 0.20% en la capa externa e interna respectivamente. Las desviaciones estándar de la capa externa e interna fueron de 0.02 y 0.06%.

El aluminio presentó valores medios de 0.08 y 0.07% y desviaciones estándar de 0.06 y 0.03% en la capa externa e interna respectivamente.

10. Descripción de elementos en el conjunto de individuos

10.1 Elementos mayores

La concentración en orden decreciente de elementos mayores en los individuos de *X. subtriangularis* fue la siguiente Si>Na>K>Ca>P>Fe>Al.

10.1.1 Silicio

Los valores de silicio encontrados en los individuos de *X. subtriangularis* fueron de 88.18 a 78.55 del % de peso seco con variaciones de 9.63 entre el valor máximo y mínimo. El valor promedio fue de 83.63 y desviación estándar de 3.73 % (n=5). El individuo ID 7 presentó abundancia mayor por 4.55% respecto a la media de los individuos (Tabla 9 y 9a).

10.1.2 Sodio

El porcentaje de sodio encontrado en los individuos de *X. subtriangularis* tuvo valores de 6.71 a 4.43% con variación de 2.28%, el valor promedio fue de 5.65% con desviación de 1.02 (n= 5). En el individuo ID1 se encontró 1.06 % de sodio superior a la media de los individuos. El ID13 tuvo una concentración superior de los demás individuos (Figura 21a, Tabla 9 y 9a).

10.1.3 Potasio

La concentración expresada en porcentaje del potasio reconocido en los individuos de *X. subtriangularis* fue de 1.04 a 0.61 % con variación de 0.43 entre el valor máximo y mínimo. El valor promedio entre los organismos reconocidos fue de 0.82 % y desviación estándar fue de 0.19 (n=5). El individuo ID13 superó a la media por 0.21 % (Figura 21b, Tabla 9 y 9a).

10.1.4 Calcio

Los valores encontrados en los individuos de *X. subtriangularis* presentaron variación desde 6.84 hasta 0.87 con diferencia de 5.97 %, siendo el valor promedio de 2.21% y desviación estándar de 2.59 (n=5) (Tabla 9). El individuo ID10 tuvo una abundancia de 4.63 % superior a la media (Tabla 9 y 9a).

10.1.5 Fosforo

Los valores reconocidos para *X. subtriangularis* fueron de 0.90 a 0.62 % con variación de 0.28%. El valor promedio fue de 0.76 y una desviación estándar de 0.11 (n=5) (Tabla 13). El individuo ID 4 fue superior por 0.12% con respecto a la media (Tabla 9 y 9a).

10.1.6 Hierro

La variación existente entre los datos obtenidos para los individuos de *X. subtriangularis* fue de 0.19 a 0.10 % (amplitud de 0.09 %), el valor promedio fue de 0.16% y desviación estándar de 0.04 (n=5) (Tabla 9). Los individuos ID4 e ID7 presentaron los mayores valores (Tabla 9 y 9a, Figuras 22).

10.1.7 Aluminio

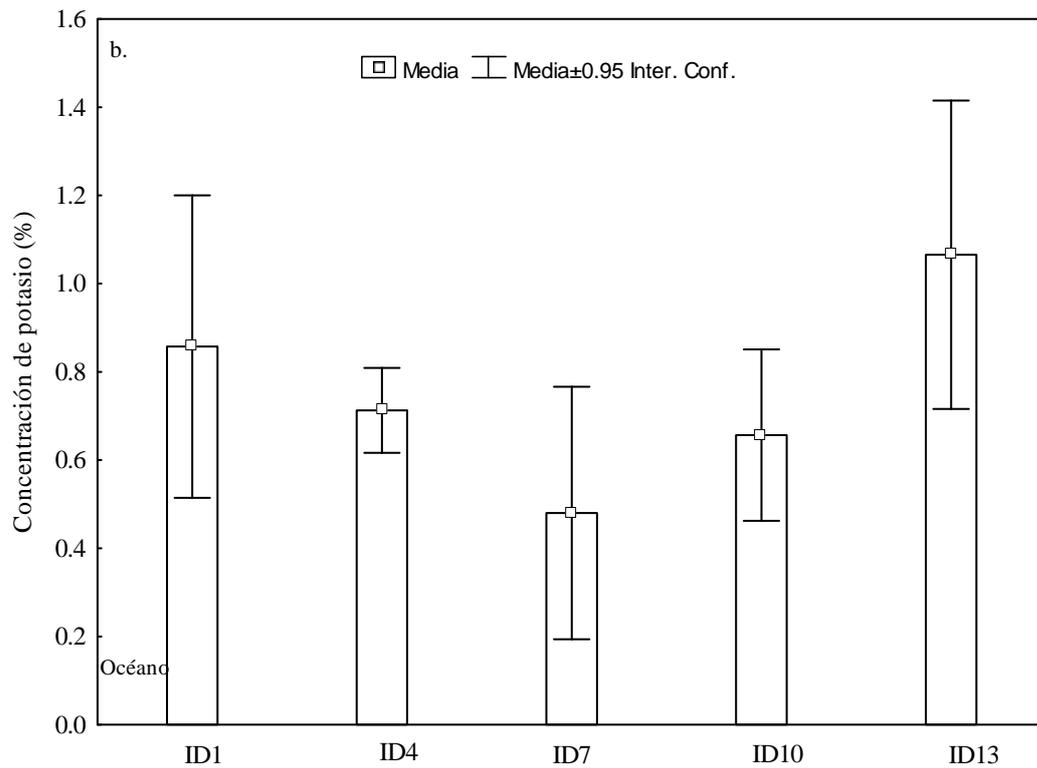
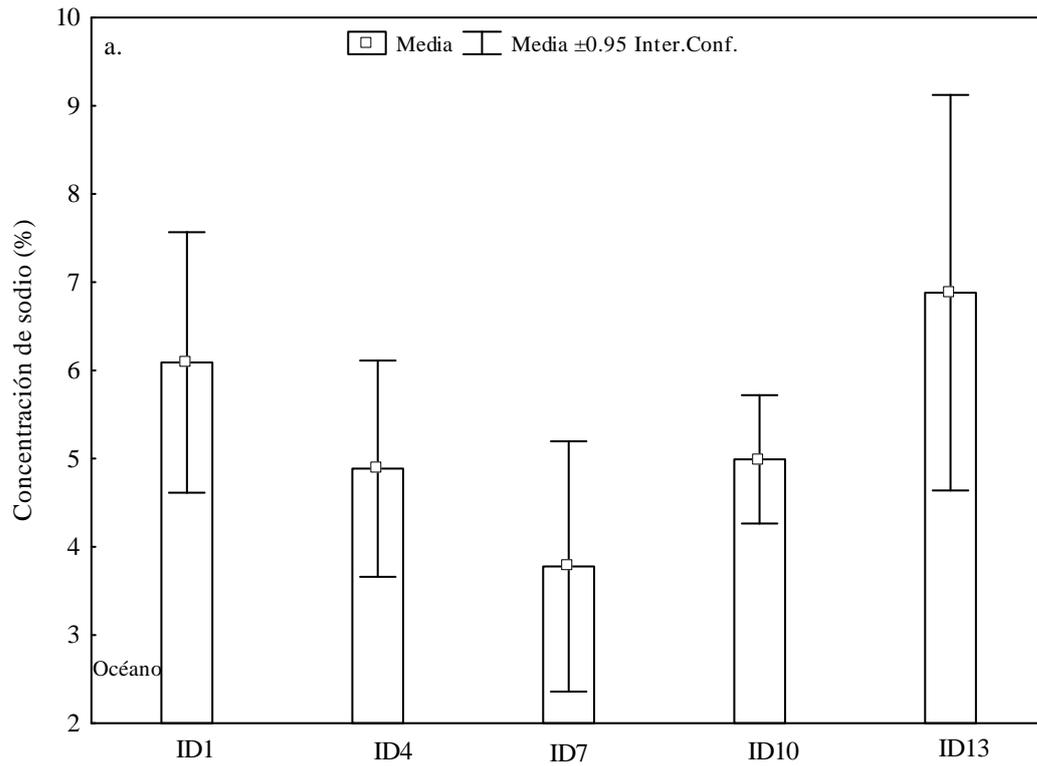
La variación en porcentaje del aluminio en *X. subtriangularis* fue de 0.12 a 0.06%, teniendo variación de 0.06%, el valor promedio fue de 0.08 % y desviación estándar de 0.02 (n=5). El individuo ID1 presentó abundancia superior a la media de 0.04% (Tabla 9 y 9a).

Tabla 9 Concentración de elementos mayores, valores expresados en porcentaje de peso seco (%) en el conjunto de individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde Veracruz

Elemento	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est.
Si	5	83.63	78.55	88.18	3.73
Na	5	5.65	4.43	6.71	1.02
K	5	0.82	0.61	1.04	0.19
Ca	5	2.21	0.87	6.84	2.59
P	5	0.77	0.62	0.90	0.11
Fe	5	0.16	0.10	0.19	0.04
Al	5	0.08	0.06	0.12	0.02

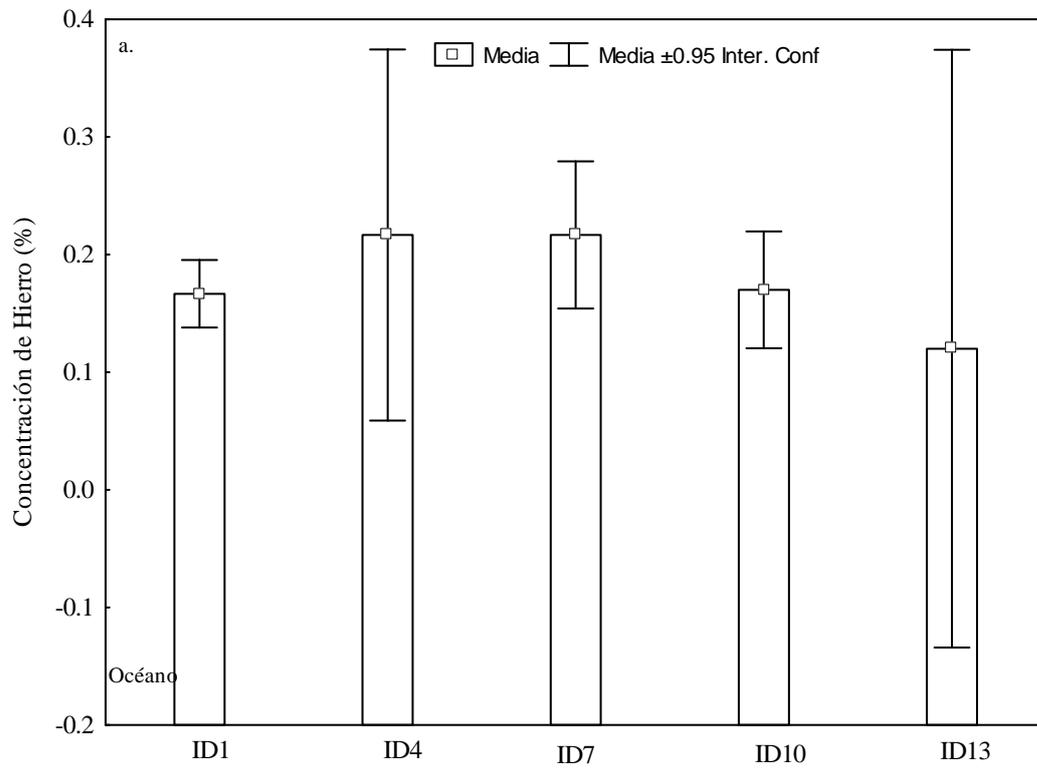
Tabla 9a Concentración de elementos mayores, valores expresados en porcentaje (%) en cada uno de los individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde Veracruz

Muestra	Profundidad	Concentración de Elementos Mayores						
Individuo	(m)	Si	Na	K	Ca	P	Fe	Al
4	0.40	85.83	5.17	0.73	1.38	0.89	0.18	0.08
7	0.40	88.18	4.43	0.61	0.87	0.69	0.19	0.06
13	0.50	81.61	6.70	1.03	1.03	0.79	0.10	0.08
10	1.70	78.55	5.24	0.72	6.84	0.62	0.15	0.06
1	8.0	84.00	6.71	1.00	0.95	0.83	0.16	0.12



Las barras verticales indican los intervalos de confianza

Figura 21a-b Elementos mayores en individuos de *X. subtriangularis*. a Concentración de sodio. b Concentración de potasio, expresados en %



Las barras verticales indican los intervalos de confianza

Figura 22 Elementos mayores en individuos de *X. subtriangularis*. a Concentración de hierro, expresada en %

10.2 Elementos traza

10.2.1 Rubidio y Cesio

Los elementos del grupo 1 encontrados en individuos de *X. subtriangularis* fueron el rubidio y el cesio (Tabla 10)

El rubidio tuvo valores de 3.12 y 2.76 $\mu\text{g g}^{-1}$, con una variabilidad de 0.36 $\mu\text{g g}^{-1}$, la media fue de 2.88 y la desviación estándar fue de 0.16 (n=4) (Tabla 10). El individuo ID1 tuvo un valor superior al promedio de 0.24 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 10a). El Cs tuvo valores entre 0.03 y 0.02 y variabilidad de 0.01 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor de la media fue de 0.03 $\mu\text{g g}^{-1}$ y desviación estándar de 0.0052 (n=4).

Tabla 10 Concentración de los elementos del grupo 1, Rb y Cs (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz

	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est
Rb	4	2.88	2.76	3.12	0.16
Cs	4	0.03	0.02	0.03	0.0052

Tabla 10a Concentración de los elementos del grupo 1, Rb y Cs (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en cada uno de los individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde Veracruz

Muestra	Profundidad	Metales alcalinos	
Individuo	(m)	Rb	Cs
7	0.4	2.82	0.02
13	0.5	2.83	0.03
10	1.7	2.76	0.02
1	8.0	3.12	0.03

10.2.2 Berilio, Estroncio y Bario

Las concentraciones obtenidas para el berilio fueron de 0.011 a 0.003 $\mu\text{g g}^{-1}$ presentándose una variabilidad de 0.008 $\mu\text{g g}^{-1}$ entre el valor máximo y el mínimo. El valor medio fue de 0.006 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.004 (n=3) (Tabla 15). El individuo ID1 superó a la media por 0.005 ‰ (Tabla 11 y 11a).

En individuos de *X. subtriangularis* el estroncio se reconoció en concentraciones que oscilaron entre 60.129 y 32.561 $\mu\text{g g}^{-1}$, con variabilidad de 27.56 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor de la media fue de 44.092 y su desviación estándar de 11.657 (n=4) (Tabla 11). El individuo ID10 tuvo una concentración superior a la media de 16.037 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 11 y 11a).

El bario sólo se reconoció en 2 individuos y las concentraciones fueron de 0.120 y 0.543 $\mu\text{g g}^{-1}$, presentando variación de 0.423 ‰ (Tabla 11 y 11a).

Tabla 11 Concentración de los elementos del grupo 2, Be, Sr, Ba (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz

	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est
Be	3	0.006	0.003	0.011	0.004
Sr	4	44.092	32.561	60.129	11.657
Ba	2	0.331	0.120	0.543	0.299

Tabla 11a Concentración de los elementos del grupo 2, Be, Sr, Ba (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en cada uno de los individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde Veracruz

Muestra Individuo	Profundidad (m)	Metales ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
		Be	Sr	Ba
7	0.4	0.003	32.561	0.120
13	0.5	<LD	43.758	<LD
10	1.7	0.004	60.129	0.543
1	8	0.011	39.919	<LD

10.3 Metales pesados

La concentración de los metales pesados en individuos de *X. subtriangularis* en orden decreciente es la siguiente:

Zn>V>Ni>Cu>Zr>Mo>Co>Pb>Sb>Hf>Ta

10.3.1 Zinc

En *X. subtriangularis* la concentración fue de 16.001 a 11.76 $\mu\text{g g}^{-1}$, con variación de 4.24 $\mu\text{g g}^{-1}$. La concentración media tuvo un valor de 13.13 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 1.944 (n=4) (Tabla 12). El individuo ID1 tuvo concentración superior a la media en 2.86 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 12 y 12a).

10.3.2 Vanadio

El valor máximo del vanadio registrado en los individuos recolectados fue de 7.81 $\mu\text{g g}^{-1}$ y el menor de 3.72 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 4.09 $\mu\text{g g}^{-1}$. La concentración media fue de 5.81 $\mu\text{g g}^{-1}$ y desviación estándar de 1.91 (n=4) (Tabla 12) El individuo ID1 superó por 2.0 $\mu\text{g g}^{-1}$ a la media (Tabla 12 y 12a).

10.3.3 Níquel

La concentración del níquel en *X. subtriangularis* fue 6.69 a 4.64 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 2.05 $\mu\text{g g}^{-1}$ y concentración media de 5.72 $\mu\text{g g}^{-1}$ (desviación estándar de 0.850, n= 4) (Tabla 12).

10.3.4 Cobre

El cobre tuvo concentración en los individuos de *X. subtriangularis* de 6.054 a 4.972 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 1.081 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor promedio fue de 5.363 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.477 (n=4) (Tabla 12).

10.3.5 Zirconio

El zirconio en individuos de *X. subtriangularis* se encontró en concentraciones de 1.42 a 0.89 $\mu\text{g g}^{-1}$ teniendo variación de 0.528 $\mu\text{g g}^{-1}$. El promedio en la concentración fue de 1.067 $\mu\text{g g}^{-1}$, y desviación estándar de 0.24 (n=4) (Tabla 12).

10.3.6 Molibdeno

En los individuos de *X. subtriangularis* las concentraciones fueron de 1.17 a 0.59 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.578 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor promedio fue de 0.77 $\mu\text{g g}^{-1}$, con desviación estándar de 0.26 (n=4). El individuo ID1 superó a la media por 0.39 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 12 y 12a).

10.3.7 Cobalto

En los individuos de *X. subtriangularis* las concentraciones fueron de 0.503 a 0.407 $\mu\text{g g}^{-1}$, con variación de 0.96 $\mu\text{g g}^{-1}$. La concentración media fue de 0.45 $\mu\text{g g}^{-1}$ y desviación estándar de 0.03 (n=4) (Tabla 12).

10.3.8 Plomo

En los individuos recolectados las concentraciones de plomo fueron de 0.39 a 0.14 $\mu\text{g g}^{-1}$, con variación de 0.25. El valor promedio fue de 0.22 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.11 (n=4) (Tabla 12). El individuo ID1 tuvo un valor superior a la media de 0.17 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 12 y 12a).

10.3.9 Antimonio

Las concentraciones de antimonio en los individuos recolectados fueron de 0.097 a 0.013 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.084 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor de la media fue de 0.043 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.037 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 12). El individuo recolectado ID1 tuvo concentración superior a la media en 0.054 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 12 y 12a).

10.3.10 Hafnio

La concentración máxima reconocida de hafnio en los individuos analizados fue de 0.046 $\mu\text{g g}^{-1}$ y la mínima de 0.027 $\mu\text{g g}^{-1}$ presentándose una variación de 0.019 $\mu\text{g g}^{-1}$. La concentración media fue de 0.034 y la desviación estándar fue de 0.008 (n=4) (Tabla 12).

10.3.11 Tantalio

El tantalio presentó valores de 0.008 hasta 0.005 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.003 $\mu\text{g g}^{-1}$. La media de la concentración fue de 0.006 $\mu\text{g g}^{-1}$ y desviación estándar de 0.001 (n=4) (Tabla 12).

Tabla 12 Concentración de metales pesados (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz

Metales pesados ($\mu\text{g g}^{-1}$)					
	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est.
Zn	4	13.13	11.765	16.001	1.944
V	4	5.810	3.721	7.818	1.911
Ni	4	5.722	4.644	6.696	0.850
Cu	4	5.363	4.972	6.054	0.477
Zr	4	1.067	0.890	1.428	0.243
Mo	4	0.776	0.593	1.171	0.269
Co	4	0.455	0.407	0.503	0.039
Pb	4	0.229	0.145	0.396	0.113
Sb	4	0.043	0.013	0.097	0.037
Hf	4	0.034	0.027	0.046	0.008
Ta	4	0.006	0.005	0.008	0.001

Tabla 12a Concentración de metales pesados (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en cada uno de los individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde Veracruz

Muestra	Profundidad	Metales pesados ($\mu\text{g g}^{-1}$)										
Individuo	(m)	Zn	V	Ni	Cu	Zr	Mo	Co	Pb	Sb	Hf	Ta
ID7	0.4	12.138	4.719	5.611	4.972	0.966	0.616	0.407	0.145	0.029	0.031	0.005
ID13	0.5	12.630	3.721	4.644	5.155	1.428	0.593	0.452	0.190	0.013	0.046	0.008
ID10	1.7	11.765	6.981	5.939	5.273	0.976	0.727	0.503	0.185	0.035	0.033	0.006
ID1	8	16.001	7.818	6.696	6.054	0.900	1.171	0.456	0.396	0.097	0.027	0.007

10.4 Lantánidos o tierras raras.

La concentración de las tierras raras en *Xestospongia subtriangularis* en orden descendiente es la siguiente:

La > Nd > Ce > Sm > Dy > Pr > Yb > Gd > Er > Ho > Tm > Tb > Eu > Lu.

La concentración del lantano fue superior ($0.47705 \mu\text{g g}^{-1}$) a la de los otros elementos. La concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$) del cerio fue de 0.13386 (15.28%) seguida del neodimio con 0.11895 (13.57 %) (Tabla 13) (ANEXO 3).

Tabla 13 Concentración promedio de Tierras raras (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz

Número atómico	Elemento	Concentración promedio ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Porcentaje (%)
57	La	0.47705	61.86805
58	Ce	0.08972	11.63574
59	Pr	0.02217	2.87489
60	Nd	0.09440	12.24204
62	Sm	0.02374	3.07850
63	Eu	0.00111	0.14331
64	Gd	0.01035	1.34261
65	Tb	0.00120	0.15498
66	Dy	0.02285	2.96340
67	Ho	0.00483	0.62640
68	Er	0.00682	0.88416
69	Tm	0.00326	0.42311
70	Yb	0.01303	1.69018
71	Lu	0.00056	0.07263

La concentración de las Tierras Raras Ligeras fue mayor al de Tierras Raras Medias y Pesadas. El porcentaje del las Tierras Raras Ligeras fue de 89.88% del total (Tabla 14).

Tabla 14 Concentración promedio de Tierras raras ligeras, medias y pesadas (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en el conjunto de individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz

Tierras Raras ($\mu\text{g g}^{-1}$)					
Ligeras		Medias		Pesadas	
La	0.47705	Sm	0.02835	Ho	0.0056
Ce	0.08972	Eu	0.00201	Er	0.0090
Pr	0.02217	Gd	0.01428	Tm	0.0037
Nd	0.09440	Tb	0.00179	Yb	0.0155
	0.17083	Dy	0.02682	Lu	0.0010
			0.01465		0.0070
%	89.88	%	6.85	%	3.25

En la Figura 23 se observa que el lantano tuvo una concentración superior a los demás elementos de la serie. También esta gráfica muestra una leve alternancia par e impar de los números atómicos del cesio al lutecio en su concentración.

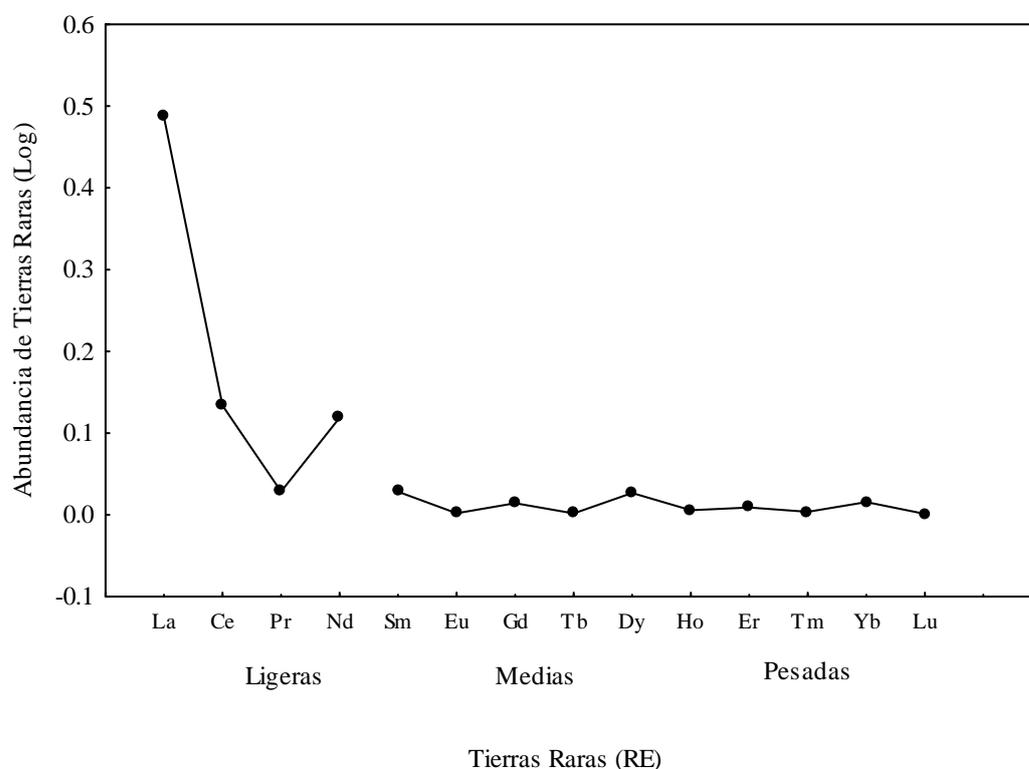


Figura 23 Abundancia de Tierras Raras (RE) en escala logarítmica en *Xestospongia subtriangularis* recolectada en la Isla Verde, Veracruz.

La concentración de los lantánidos en cada muestra fue normalizada con base a la Condrita Leedeey y los valores de McDonough y Sun (1995). La concentración relativa está graficada (Figura 24) en escala logarítmica contra el número atómico de las tierras raras.

Las tierras raras ligeras se encontraron enriquecidas con respecto a las Tierras Raras Medias y Pesadas. La muestra ID13 se encuentra enriquecida en Tierras Raras con respecto a las demás muestras. También se observa una amplia desviación en los valores del europio en el conjunto de individuos. El cesio, el terbio y el erbio tuvieron anomalías menores en todos los individuos. La proporción La/Ho tuvo un valor de 85.18.

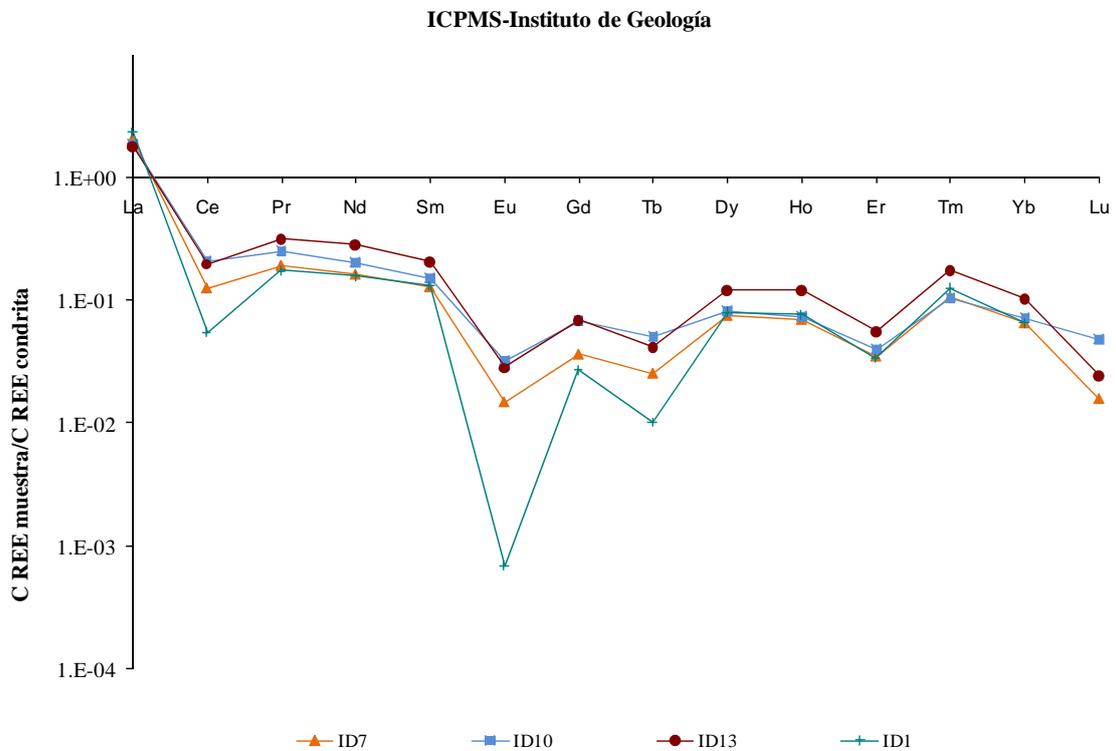


Figura 24 Concentración normalizada de Tierras Raras de *Xestospongia subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz.

11. Discusión

11.1 Valoración estequiométrica en Individuos de *Xestospongia subtriangularis*

El C_{org} es considerado como el principal componente de todas las moléculas orgánicas y constituye aproximadamente del 24 al 60 por ciento del peso seco de los organismos (Geider y La Roche 2002). El valor promedio de C_{org} en *Xestospongia subtriangularis* fue inferior al antes mencionado con sólo 13 a 17 %, también fue inferior en 30% al contenido en especies coralinas de Bahamas el cual fue en promedio de 45.15% (Szmant et al. 1990), esta diferencia muestra que la producción de tejido en la esponja es lenta comparada con otras especies arrecifales.

En *Xestospongia subtriangularis*, los individuos con mayor porcentaje de C_{org} fueron los ID10 e ID13 con 15.46 y 16.22%, respectivamente, ambos presentaron diferencias significativas con respecto a los demás individuos (Figura 11), lo anterior sugiere que estos dos tuvieron una mayor cantidad de tejido vivo (Geider y La Roche 2002). En la Figura 11 se puede apreciar, que los ID10 e ID13 tuvieron barras de error con amplitud superior a los otros individuos, debido a las desviaciones estándar (0.62 y 0.55 % respectivamente), sin embargo, se mantienen en un intervalo estrecho e inferior al de otros estudios (Desv. Est. 5%, Szmant et al. 1990) lo cual nos sugiere una leve diferencia asociada a la zona de donde se extrajo la muestra en la ramificación (ápice, parte media o base) (Szmant et al. 1990).

Dorgelo y Leonards (2001) midieron el C_{org} en dietas diversas y probables para el bivalvo *Potamopyrgus jenkisoni* las cuales tuvieron valores desde 2.42 hasta 43.82 % de C_{org} , la composición se modificaba en porcentaje entre detritos, bacterias y microalgas. Con base a los valores obtenidos por estos autores se tendría un acercamiento a la dieta promedio de *X. subtriangularis* que sería de 70% de bacterias, 20% de detritos y 10% de microalgas (Dorgelo y Leonards 2001). Otro estudio que revela otro de los componentes que dan origen al C_{org} de la esponja es el Geider y La Roche (2002), en donde obtuvieron valores C_{org} en fitoplancton de 13 a 17%.

El valor mínimo en *Xestospongia subtriangularis* correspondió al ID7 que fue de 13.6%, valor similar (13.88%) al de una dieta de 60% de detritos (Dorgelo y Leonards 2001). Este individuo (ID7) fue recolectado en la laguna arrecifal a una profundidad de 0.40 m, lo que podría afectar su capacidad para alimentarse debido a que se ha reconocido que en las partes superiores de los arrecifes hay una disminución en la

concentración del fitoplancton y de las comunidades bacterianas (Ayukai 1995) debido a la alta concentración de mucus producido por los organismos béticos (Crossland et al. 1980).

Los valores de N_{org} encontrados en la esponja fueron en promedio de 3.92 DE 0.48 (Tabla 7), similares a los observados por Rice (1982) en macrofitas en proceso de descomposición en donde existe una alta concentración de bacterias (*Gracilaria follifera* fue de 3.01% y el de *Spatoglossum schroederi* de 3.29%) así como la presencia de complejos bacteria+detritos.

En *Xestospongia subtriangularis* los valores con mayor contenido de N_{org} fueron reconocidos en los individuos ID13 e ID10 con 4.39 y 4.44% respectivamente (Tabla 7a). Estos mismos ID presentaron diferencias significativas (ANOVA $p=0.00096$) con respecto a los ID1, 4 y 7 (Figura 12) sin embargo se encuentran dentro del intervalo que señala un crecimiento lento (menos de 7%) (Dorgelo y Leonards 2001).

La presencia de bacterias en esponjas esta ampliamente reconocida (Pile et al. 2003, Gili y Coma 1998, Pile y Young 2006) y se sabe que estos organismos aportan aproximadamente 2g de N_{org} por día a diversas especies de esponjas. Sin embargo, el N_{org} también puede provenir del fitoplancton filtrado por la esponja, ya que se encuentra presente en las clorofilas a, b y c (Geider y La Roche 2002). La concentración promedio de clorofila a (Chl **a**) en *Xestospongia subtriangularis* fue de 34.75 mg g^{-1} (ANEXO 2.1) de peso seco el cual contribuyó a los valores de N_{org} reconocidos.

El N_{org} proporciona información de la calidad nutricional del organismo y de la capacidad de crecimiento. La primera depende de la disponibilidad en el ambiente del N_{org} , la cual puede mantenerse o aumentar a través del tiempo. Para el caso de *X. subtriangularis* parece ser estable (Rice 1982), debido a que su crecimiento es lento como la indica la combinación de los valores de nitrógeno junto con los valores de una baja proporción C:N (Dorgelo y Leonards 2001).

La proporción estequiométrica junto con valores termodinámicos pueden ofrecer información acerca de la calidad de la biomasa de los organismos (Gnaiger y Bitterlich 1984). El valor calorimétrico promedio de los individuos de *X. subtriangularis* en aproximadamente 3mg fue de 12.88 cal, mientras que el valor promedio de N_{org} fue de 3.9 estos valores señalan que su biomasa en general está constituida por un contenido proteico limitado (Gnaiger y Bitterlich, 1984).

11.1.2 Proporción carbono: nitrógeno (C:N)

La proporción C:N en *Xestospongia subtriangularis* tuvo un valor promedio de 3.73 (± 0.285) (Tabla 7) y se considera enriquecido; similar al de un sistema con bacterias las cuales aportarías la mayor parte del nitrógeno (3.5 C:N, Seiderer et. al. 1984; C:N <5, Cifuentes et al. 1999,). Sin embargo, el valor es inferior al establecido para un crecimiento óptimo de un organismos filtrador, que es de aproximadamente 15. Por lo que se asume que la asimilación de tejido en la esponja es lenta (Dorgelo y Leonards 2001).

El estudio estacional de Cloern y colaboradores (2002) reconoce que existen modificaciones estacionales en la proporción C:N. Cuando los valores de ésta son bajos se interpreta como la biosíntesis de estructuras o la temporada de inversión, mientras que un rápido aumento de C:N ocurre en la senectud de los organismos y se debe a que las bacterias y algas comienzan a degradar y metabolizar las estructuras. Los datos obtenidos para *X. subtriangularis* no pueden ofrecer un patrón estacional, sin embargo su proporción C:N es baja como la de un organismos en constante inversión (Dorgelo y Leonards 2001). Además de indicar una baja acumulación de materiales ricos en carbono y con bajas reservas para periodos de entradas nutricionales reducidas (Szmant et al. 1990).

La composición elemental de *Xestospongia subtriangularis*, es enriquecida (C:N 3.73), además de consistente a la observada en otros trabajos y similar al de bacterias con valores desde 3 C:N (Lee y Fuhrman 1984), 3.5 a 3.9 C:N (Seiderer et al. 1984) 2.9 C:N (Coffin et al. 1989) hasta 5 (Cifuentes et al. 1999). También forma parte del intervalo determinado para algas 4.0 (Coffin et al. 1989) o de 3 hasta 8 C:N (Geider y La Roche 2002), y organismos heterotróficos 4.0 (Pile et al. 2003). La presencia de algas, bacterias y organismos heterotróficos está ampliamente documentado y se sabe que llegan a formar hasta el 60% del volumen de las esponjas (Burja y Hill 2001, Lee et al. 2001), además de que éstas proporcionan una buena cantidad de vitamina B₁₂ la cual favorece la adsorción del carbonato de calcio (Phillips 1984).

En la Figura15 donde se grafican los valores C:N junto con los valores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ se corrobora la presencia de estos organismos. En este gráfico se aprecian tres informaciones. Primero que la composición estequiométrica C:N en todos los individuos fue similar, ya que todos los ID se encontraron en un intervalo inferior a

1 C:N, sin importar el lugar de recolecta: laguna/océano, concluyéndose que todos tienen material limitado al origen autóctono debido a que presentan una razón inferior a 6 (Wetzel 1982, Cifuentes et al. 1999), las cuales pueden ayudar a mantener un balance positivo en este sistema arrecifal (Ayukai 1995). Segundo que esta proporción permanece sin importar el punto de muestreo en cada individuo (ápice, media, base). Tercero que los ID4, 7, 13 y 10 tienen carbono de un origen diferente al ID1.

A partir del análisis elemental de C_{org} y N_{org} y de la razón C:N para *X. subtriangularis* se pudo reconocer que los ID10 e ID13 difieren principalmente en la cantidad de tejido y calidad del mismo. A partir de esta técnica se puede obtener información de la composición estequiométrica general de la esponja la cual fue similar al de MOP, algas, bacterias y protozoarios, todas estas fuentes fueron obtenidas *in situ*.

11.2 Análisis de isotopía estable

11.2.1 Fuentes potenciales de carbono orgánico para un organismo filtrador

Debido a que *Xestospongia subtriangularis* es un organismo filtrador se asume que obtiene sus fuentes de carbono orgánico de la columna de agua (Gili y Coma 1998) o del material resuspendido. El carbono orgánico tiene diversos orígenes y puede contribuir al reservorio del Carbono Orgánico Pariculado (POC), el cual llega a estar formado por el detritos terrígenos (con señal isotópica de -27 a -28.0‰) (Peterson y Howarth 1987, Coffin et al. 1989, Riera y Richard 1996), por el detrito rivereño (-28.26 ‰ a -20.46‰ $\delta^{13}C$, Riera y Richard 1996) y el de origen planctónico marino (-21.2‰ a -21.5‰ $\delta^{13}C$ Michener y Schell 1994; Riera y Richard 1996). Es muy probable que estas tres fuentes se presenten en una mezcla de partículas consumidas por *Xestospongia subtriangularis*, en virtud de que la zona de estudio está influenciada por estas fuentes.

En el área de estudio, cercana a la zona de recolecta de la esponja, hay dos comunidades que pueden proveer fuentes de detrito, principalmente para las esponjas más cercanas a la superficie. La primera es la comunidad de *Thalassia testudinum* König con valores isotópicos de $\delta^{13}C$ de -13 a -10‰ (Fry et al. 1982) la segunda comunidad es la de macroalgas, como *Ulva lactuca* con valores isotópicos de -13.9 a -10.8‰ $\delta^{13}C$ (Page y Lastra 2003). El detrito proveniente de macroalgas se ha reconocido en la dieta de bivalvos (Duggins y Eckman 1997) y podría ser una fuente de carbono que no debe ser excluida porque puede afectar en el comportamiento isotópico

de las muestras.

11.3 Composición isotópica $\delta^{13}\text{C}$ de *Xestospongia subtriangularis*

El valor promedio $\delta^{13}\text{C}$ para la esponja *Xestospongia subtriangularis* fue de -17.92 ‰ similar a los valores publicados por Fry et al. (1982) con $\delta^{13}\text{C}$ entre -16‰ y -22‰, también fueron similares a los reconocidos en *Tetilla dactyloidea* con -18.4‰ (Bouillon et al. 2002). Los individuos ID7 e ID13, pertenecientes a la laguna, tuvieron desviaciones amplias (0.45‰ DE). Mientras que el ID1 de la zona oceánica presentó la menor desviación estándar (0.014‰). Ambas desviaciones fueron inferiores a las reconocidas para otros invertebrados pertenecientes a un sistema estuarino en la India (Bouillon et al. 2002). Este dato tiene valor descriptivo ya que indica que la esponja ID1 tiene una alta heterotrofia comparada con las pertenecientes a las de la laguna.

Los filtradores como las esponjas se han clasificado en tres tipos según sus valores isotópicos (Peterson y Howarth 1987): Filtradores activos de fitoplancton (columna de agua) -16.7‰ a -21.4‰ (\bar{x} = 19.05), filtradores del agua de fondo (interface agua sedimento) -15.1‰ a -17.1‰ (\bar{x} = 16.1), y filtradores de sedimento -14.6 ‰ a -17.8 ‰ (\bar{x} = 16.2). Con base a esta clasificación y tomando en cuenta el promedio de *X. subtriangularis* que es de -17.92 (‰), se reconoce como un filtrador de la columna de agua. Sin embargo, la ANOVA ($p=0.005$, Figura 13) reveló diferencias significativas, en donde el ID1 difiere en el origen del carbono con respecto a las otras cuatro muestras pertenecientes a la laguna arrecifal.

El promedio de las cuatro muestras de la laguna arrecifal fue de -17.59 ‰, en cambio la muestra oceánica fue de -19.37‰. Por lo tanto el ID1 se reconoce como un filtrador de la columna de agua, mientras que las otras cuatro muestras representan una mezcla entre filtrador de interface y filtrador de sedimento, según la descripción de Peterson y Howarth (1987) (Figura 25).

El método tradicional para presentar una trama trófica a partir de isótopos estables se establece con la relación de valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ contra los de $\delta^{13}\text{C}$ (Figura 14). La información que provee esa relación, en gráficos, se asocia con la determinación de la dieta potencial, además de la comparación de nichos tróficos en poblaciones (Schmidt et al. 2007). En la Figura 14 en los valores isotópicos de *Xestospongia subtriangularis* se observa la separación de las muestras, donde las primeras cuatro muestras, pertenecientes a la laguna arrecifal, se aglomeraron cerca del valor $\delta^{13}\text{C}$ -17.6‰. Por el contrario, la muestra ID1 perteneciente a la zona oceánica,

se aloja entre $\delta^{13}\text{C}$ -19.2 y -19.6 ‰. La separación entre los individuos pertenecientes a la laguna arrecifal y el de la zona oceánica es de casi 2‰. Asimismo se aprecia que las barras de error entre el grupo de la laguna y la zona oceánica no se contraponen. Lo anterior sugiere que difieren espacialmente de su nicho trófico (Schmidt et al. 2007).

El enriquecimiento observado en los ID de la laguna arrecifal puede provenir del detrito perteneciente a pastos marinos o algas que abundan en la zona, como lo reconocieron en la esponja *Tetilla dactyloidea*, la cual se encontraba influenciada por material rivereño y detritos de mangle (Bouillon et al. 2002). Sin embargo, se ha reconocido que parte de material filtrado por esponjas es sedimento (Ayukai 1995, Gili y Coma 1998, Gili et al. 2001, Duckort et al. 2003, Pile et al. 1997).

Se ha reconocido que existe la resuspensión del sedimento en aguas someras (Pili 2005) donde el microfitobentos queda liberado para ser consumido y contribuye a la dieta de organismos (Bouillon et al. 2002, Page y Lastra 2003). Los antecedentes bibliográficos reconocen valores de $\delta^{13}\text{C}$ -17.3‰ a -15‰ y de $\delta^{15}\text{N}+4.5$ ‰ para microfitobentos (Currin et al. 1995; France 1995; Riera y Richard 1996, Bouillon et al. 2002), el cual puede enriquecer a los individuos de la laguna y de esta forma cambiar su composición isotópica y por lo tanto su comportamiento alimenticio.

Fuera de la laguna, los valores de la dieta potencial para el ID1 provienen de materiales de la columna de agua como el fitoplancton ($\bar{x}=-19.5$ ‰ $\delta^{13}\text{C}$, Peterson y Howarth 1987). Anteriormente se observó que las esponjas que se alimentaban del zooplancton y fitoplancton tenían valores de -19.2‰ (Fry 1988). Algunos otros organismos que tienen dietas únicamente de zooplancton como copépodos y eufausidos tienen valor promedio de -19.96 ‰ semejante al del individuo de la zona oceánica (Fry 1988, Fry y Wainright 1991, Michener y Schell 1994) (Figura 25).

Las diferencias en enriquecimiento de los individuos colectados en el SAV muestran un comportamiento alimenticio independiente de ambas localidades sugiriendo la importancia del análisis isotópico, en la escala local, para los consumidores (Guest et al. 2004), por lo que sería conveniente que en un futuro se evalúen paralelamente muestras de sedimento y columna de agua para reconocer su papel como medios que aporten fuentes de carbono de orígenes distintos y su influencia en la fisiología de los organismos.

11.3.1 Fraccionamiento del isótopo estable de carbono ($\Delta\delta^{13}\text{C}$)

El fraccionamiento (Δ) permite documentar y regular un patrón consistente de enriquecimiento isotópico, con respecto a una línea base en una trama trófica. Este factor de enriquecimiento aumenta por cada nivel trófico en 1‰ (Fry 1988, Michener y Schell 1994). El factor de enriquecimiento promedio en *Xestospongia subtriangularis* fue de Δ 3.38‰. Para organismos fotoautotróficos como corales (-14 a -10‰ Heikoop et al. 2000; -13.9 ‰ a -9.4‰ *Heliofungia actiniformis* y -14.01‰ a -11.00‰ *Pocillopora damicornis* Hoegh-Guldberg et al. 2004), se sabe que el fraccionamiento es en promedio de Δ 10‰, afectado principalmente por la presencia de simbioses.

Los valores obtenidos en *X. subtriangularis* fueron empobrecidos con aproximadamente Δ 6‰ con respecto a los reconocidos para organismos de nutrición prioritariamente fotoautotrófica. Por lo tanto es poco probable que los organismos simbioses reconocidos en la esponja afecten o contribuyan con su nutrición (Heikoop et al. 2000) y que su tipo de alimentación sea únicamente heterotrófica debido a la similitud con otros organismos filtradores de detrito como: moluscos, anémonas y gasterópodos cuyo fraccionamiento es de 3.6‰ (Fry 1988).

11.3.2 Efecto local en la dieta

El factor de enriquecimiento refleja el origen de carbón asimilado por los organismos (Fry 1988, Schmidt et al. 2007). Como se mencionó, el factor de enriquecimiento promedio de *Xestospongia subtriangularis* fue de Δ 3.4‰. Sin embargo el fraccionamiento no fue igual en todos los individuos. Las muestras recolectadas en la laguna arrecifal tuvieron en promedio valores de Δ 3.71‰ y el de la zona oceánica fue de Δ 1.09‰.

Esta información sigue un gradiente alimenticio entre las dos zonas, así como múltiples recursos basales en la zona (Guest et al. 2004), reflejados principalmente en los valores de los organismos de la laguna arrecifal. Estos recursos pueden ser a) las descargas ribereñas que enriquecen los valores (Page y Lastra 2003); b) el consumo del fitoplancton de crecimiento rápido de zonas someras (-18.5 y -24.0‰) (Fry y Wainright 1991) y c) el filtrado de microfitobentos resuspendido por las mareas (Bouillon et al. 2002). Los cuales podrían estar siendo utilizados por los organismos de la laguna arrecifal. Mientras que el individuo de la zona oceánica tiene un número inferior de

recursos. Por lo tanto se propone la existencia de dos nichos tróficos para la misma especie, lo cual podría verse reflejado en los niveles superiores de la cadena trófica en donde hipotéticamente la zona de la laguna arrecifal podría tener un mayor número de niveles tróficos (Fry, 1988, Fry y Wainright 1991).

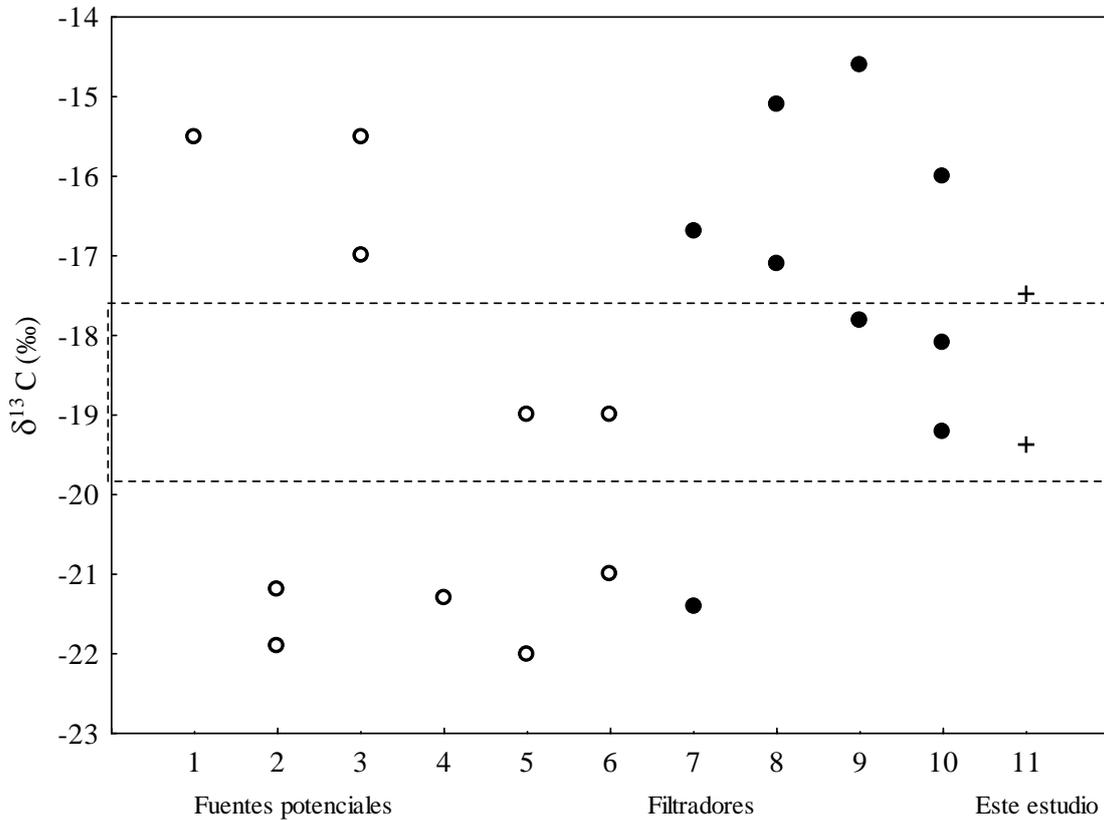


Figura 25 Valores de $\delta^{13}\text{C}$ de diversos orígenes. La figura en líneas intermitentes indica el intervalo de $\delta^{13}\text{C}$ reconocido para *X. subtriangularis*.

Fuentes potenciales

1. Florecimiento de diatomeas (*Coscinodiscus* spp.), (Fry y Wainright 1991).
2. MOP de zonas de zonas someras, (Fry y Wainright 1991).
3. MOP enriquecida con N, P y Si, (Fry y Wainright 1991).
4. Fitoplancton, (Fry y Wainright 1991)
5. Material de trampas de Sedimento en estuarios, (Fry y Wainright 1991).
6. MOP de alta productividad ($> 1\mu\text{g L}^{-1}$ de clorofila) del Atlantico Noreste (Fry y Wainright 1991)

Filtradores

7. Filtradores activos, (Peterson y Howarth 1987).
8. Filtradores de sedimentos y de la columna de agua, (Peterson y Howarth 1987).
9. Filtradores de sedimento, (Peterson y Howarth 1987).
10. Esponjas de arrecifes de coral, (Fry et al. 1982).
11. Este estudio

11.4 Composición isotópica $\delta^{15}\text{N}$ de *Xestospongia subtriangularis*

El valor promedio de *Xestospongia subtriangularis* $\delta^{15}\text{N}$ fue 6.55‰ con desviación estándar de 0.29 (Tabla 8). El valor en los individuos fue homogénea, ya que no se encontraron diferencias significativas por lo tanto se considera que los individuos recolectados se encuentran todos en el mismo nivel trófico (DeNiro y Epstein 1978, Fry 1988, Bearhop et al. 2004). El promedio de 6.55‰ $\delta^{15}\text{N}$ en *X. subtriangularis* es empobrecido en 0.65‰ al reconocido en promedio para organismos con hábitos alimenticios similares como anémonas, moluscos, bivalvos, anfípodos bénticos y una estrella marina con un promedio de 7.2‰ (Peterson y Howarth 1987, Fry 1988, Heikoop et al. 2000).

11.4.1 Nivel trófico y fraccionamiento del isótopo estable de nitrógeno ($\Delta\delta^{15}\text{N}$)

El valor obtenido en la esponja fue cercano a un segundo nivel trófico (2.2 ‰) correspondiente a un consumidor primario marino, el cual puede tener hábitos de un filtrador o de un herbívoro (McClelland y Valiela 1998). Sin embargo, *Xestospongia subtriangularis* mostró empobrecimiento en los valores del fraccionamiento, al compararla con otros organismos filtradores, y su valor promedio fue de $\Delta 0.75\%$, inferior al de otros organismos en la misma posición trófica es cual es de aproximadamente de $\Delta 3\%$ (Vander Zanden y Rasmussen 2001), comportamiento reconocido anteriormente para organismos filtradores y organismos marinos (Heikoop et al. 2000) que fueron afectados en su composición isotópica $\delta^{15}\text{N}$ debido a una alta retención del nitrógeno en los tejidos, excreción reducida del isótopo ligero (Peterson 1999) o aportes de nitrógeno terrígeno (Macko y Ostrom 1994).

11.4.2 Isótopo estable de nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) como un trazador de contaminación

La proporción natural en la abundancia $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ha sido empleada frecuentemente como un trazador natural de desechos antropogénicos, descargas de aguas municipales de origen fluvial o lacustre (McClelland et al. 1997), las cuales afectan a organismos bénticos, filtradores, como *Xestospongia subtriangularis* y que tienen un papel importante en las comunidades arrecifales, ya que dependen altamente del sedimento y de la columna de agua.

La abundancia natural de los isótopos estables de nitrógeno permite trazar el enriquecimiento por nitrato por agua residual y con ello prevenir o minimizar la contaminación (Macko y Ostrom 1994, Heikoop et al. 2000).

Se sabe que existen tres fuentes principales de nitrato que afectan las zonas someras y arrecifales proveniente de: a) fertilizantes ($\delta^{15}\text{N}$ aproximado de -2 a 2‰ Hoegh-Guldberg et al. 2004), b) derivado del suelo de cultivo ($\delta^{15}\text{N}$ aproximado de 2 a 8‰ Macko y Ostrom 1994), y c) aguas residuales ($\delta^{15}\text{N}$ aproximado de 8 a 22‰ Hoegh-Guldberg et al. 2004). Las cuales han llevado a una disminución en los valores relativos $\delta^{15}\text{N}$ de productores primarios, afectando a los niveles superiores (Yamamuro et al. 1995).

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en *Xestospongia subtriangularis* se encuentran empobrecidos, con respecto su nivel trófico teórico ($\delta^{15}\text{N} +3.8$, $\delta^{15}\text{N} +6.7$ ‰ De Niro y Epstein 1978, Bouillon et al. 2002). Los valores de la esponja sugieren la incorporación de nitrato derivado de fuentes costeras, vía descargas fluviales, hacia el arrecife, probablemente provenientes del desagüe de Boca del Río y el Río Jamapan (Mapa digital de México, INEGI).

Patrones similares se han reconocido anteriormente con resultante empobrecimiento en la señal de $\delta^{15}\text{N}$, para filtradores, con valores de +4 a +9‰ por efecto de descargas rivereñas (Bouillon et al. 2002) y de desechos municipales ($\delta^{15}\text{N} +5.2$ ‰, Hoegh-Guldberg et al. 2004) (Figura 26). Los valores de nitratos y de nitritos de procedencia urbana y agrícola reconocidos por la Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (2000) en el puerto de Veracruz son mayores a 0.04 y 0.002 mg/L respectivamente y pueden estar afectando a los valores esperados para *X. subtriangularis*.

Los impactos anteriores han tenido consecuencias documentadas, sobre la fauna béntica arrecifal como son cambios fisiológicos y de crecimiento; la reducción en la producción de gametos y enfermedades en la mayor parte de la población (Goreau y Macfarlane 1990, Szmant y Gassman 1990). Aún no se sabe las consecuencias que tendrán sobre los organismos del SAV y para *Xestospongia subtriangularis* en la Isla Verde, Veracruz, pero esta modificación en su proporción isotópica elemental si tiene repercusiones en los siguientes niveles tróficos.

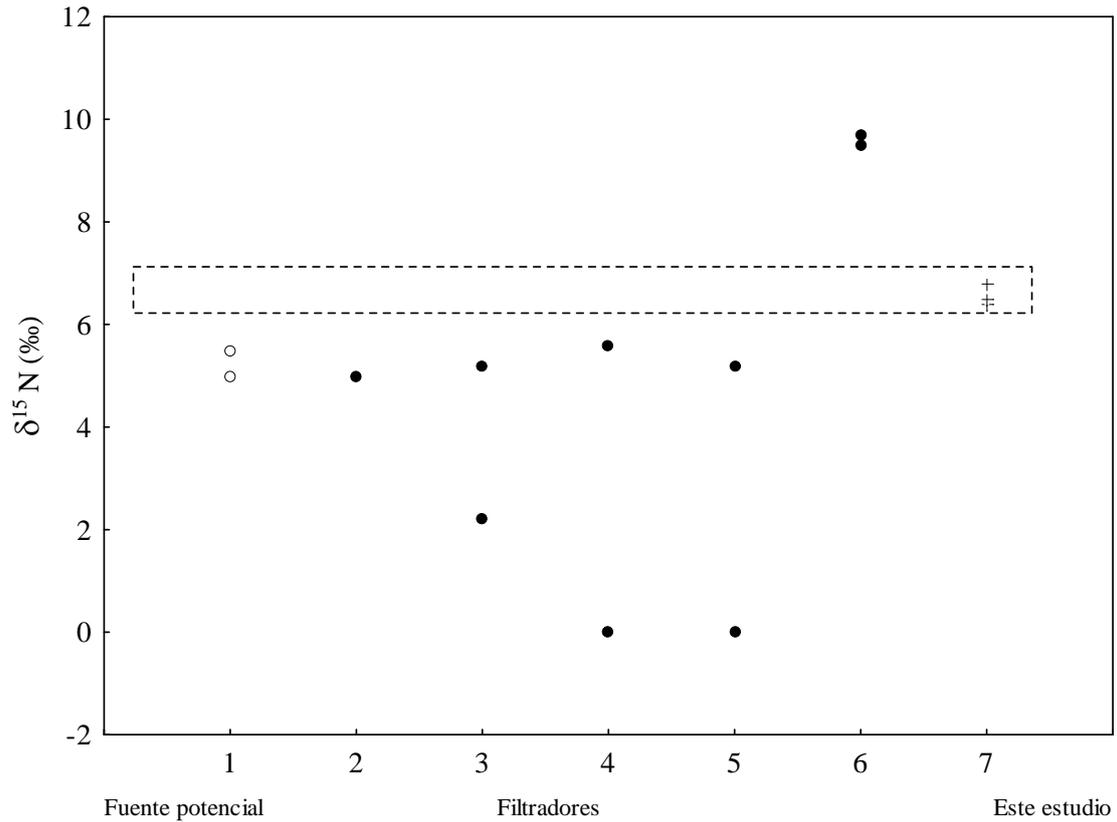


Figura 26 Valores de $\delta^{15}\text{N}$ de diversos orígenes: ○ Fuente potencial, ● Valores de la literatura para diversos filtradores, + Este estudio.

Fuente potencial

1. Material orgánico particulado suspendido autóctono (MOPS) (Coffin et al. 1994)

Filtradores

2. *Haliclona cymiformis* (Davy et al. 2002)
3. *Cliona delitrix* (Ward-Paige et al. 2005)
4. *Heliofungia actiniformis* (Hoegh-Guldberg et al. 2004)
5. *Pocillopora damicornis* (Hoegh-Guldberg et al. 2004)
6. *Solen cylindraceus* (Richoux y Froneman 2007)
7. Este estudio

12. Capa de tejido interno y capa de tejido externo de *Xestospongia subtriangularis*

Con base a las diferencias en la coloración de la esponja *Xestospongia subtriangularis* se esperaba reconocer diferencias en la composición entre éstas. Sin embargo únicamente hubo cambios en el análisis de C_{org} y en algunos elementos mayores como a continuación se discute.

12.1 Variación en el contenido de carbono orgánico (C_{org})

La capa externa presentó diferencias significativas con relación a la capa interna (Figura 16). Estas diferencias se atribuyen a que la capa externa es un medio ideal de residencia para diversos organismos como diatomeas que al realizar la fotosíntesis producen fosfoglicéridos (Burja y Hill 2001), macromoléculas con un alto aporte de C_{org} de aproximadamente 10-50% de la masa celular (Geider y La Roche 2002) y que pudieran estar afectando en la proporción de C_{org} en *Xestospongia subtriangularis*.

Otro aporte importante en el C_{org} de la capa externa de *X. subtriangularis* fue la presencia de clorofila *a* (ANEXO 2.3). La distribución de la clorofila *a* fue similar a la reconocida por Becerro y Paul (2004) en *Dysidea granulosa* donde la capa externa presenta la mayor concentración y es causada a que la intensidad de la luz favorece la fotosíntesis en la capa externa, pero disminuye el crecimiento del tejido de la esponja. Un aporte importante para el C_{org} es el que ofrecen macromoléculas, y en esta tesis se obtuvo información de éstas por medio de valores energéticos a partir de la calorimetría. Los datos energéticos fueron superiores en la capa externa, aunque no existieron diferencias significativas (ANEXO 4) con respecto a la capa interna, esta distribución se ha asociado a que gran parte de compuestos químicos se concentran en la parte externa para evitar la depredación (Uriz et al. 1996).

12.2 Isótopos estables de carbono y de nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$)

Se esperaba reconocer diferencias a partir de la isotopía estable de carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) entre las capas. A partir de estas diferencias se reflejarían condiciones nutricionales a escalas de tiempo en el uso de los componentes de la dieta (Bearhop et al. 2004, Hoegh-Guldberg et al. 2004). La ausencia de diferencias entre capas, y la alta uniformidad isotópica sugiere un mismo tipo de metabolismo, sin embargo los ejemplares de diferentes localidades sugieren dietas de orígenes distintos (Figuras 17- 18), como se trató en el capítulo anterior. Para el caso de las capas la información relevante es que la composición de toda la esponja, es decir, las capas tanto la externa como la interna, están influenciadas por los mismos componentes nutricionales y por lo tanto están siendo consumidos en un tiempo relativamente corto (Hooker et al. 2001, Rubenstein y Hobson 2004).

Finalmente la relación $\delta^{13}\text{C}$ vs C:N confirman la presencia de bacterias y algas en ambas capas (Figuras 19 y 20) (Coffin et al. 1989) con una mayor tendencia a tener bacterias en la capa externa debido a su estrecho intervalo de valores en C:N de 3.6 a 3.9 para las capas 3, 8 11 y 14 (Seiderer et al. 1984).

12.3 Elementos mayores

Los elementos como el silicio, sodio, potasio, calcio y hierro fueron reconocidos en *Xestospongia subtriangularis* éstos son elementos esenciales para el desarrollo y metabolismo de todos los animales marinos, algunos de ellos se encuentran en bajas concentraciones y se requieren igualmente en bajas concentraciones (Ansari et al. 2004). El aluminio es el único elemento no indispensable para la vida (Libes1992) y fue encontrado en *X. subtriangularis* en concentraciones mínimas.

El sodio, el potasio y el hierro en *Xestospongia subtriangularis* se encontraron en concentraciones levemente superiores en la parte interna de la esponja. Este comportamiento fue reconocido por Becerro y Paul (2004), y lo atribuye a dos posibles causas, la primera a la concentración natural para el metabolismo de estos organismos debido a la actividad filtradora de estos. La segunda, a una mayor cantidad de fitoplancton en la capa interna de las esponjas, las cuales se sabe que acumulan estos elementos para cubrir sus requerimientos metabólicos (Becerro y Paul 2004, Heldal et al. 1985).

La concentración promedio de sodio en ambas capas fue superior a la registrada en sedimentos superficiales de la zona (Rosalez-Hoz et al. 2005, Celis-Hernández 2006, Rosalez-Hoz et al. 2007). El sodio y el potasio son los iones conservativos mayores del agua marina (Libes 1992). Son reguladores de las concentraciones de elementos orgánicos e inorgánicos en los animales marinos los cuales ayudan a mantener la presión osmótica en la célula (Rayner-Canham 2000, Levinton 2001).

El hierro es un elemento biolimitante para los organismos marinos y es un cofactor de enzimas indispensables para el transporte de oxígeno también forma parte de los fluidos corporales de invertebrados y vertebrados. El hierro, es clasificado como un elemento de perfil que se pierde conforme aumenta la profundidad (Millero 2006). En *Xestospongia subtriangularis* hubo valores similares a los reconocidos para sedimentos superficiales de la zona (0.065-2.03%), la presencia de este elemento en los sedimentos se han sugerido que provienen del aporte terrígeno y principalmente transportado por afluentes de los ríos aledaños (Rosales-Hoz et al. 2007).

El aluminio tuvo una concentración similar en ambas capas sin embargo, el promedio en la capa externa es levemente superior, probablemente debido al contacto con el medio que favorece la retención de arcillas, conformadas por aluminosilicatos (Millero 2006). El porcentaje observado es similar al reconocido para la composición de esponjas (Libes 1992) pero es menor al reconocido en los sedimentos someros del SAV (Celis-Hernández 2006) y los superficiales de la misma localidad (2.04 y 3.76 %, Rosalez-Hoz et al. 2007).

13 Descripción de elementos en el conjunto de individuos de *Xestospongia subtriangularis*

13.1 Elementos mayores

La salinidad del agua marina está cubierta por seis iones mayores que cubren el 99% de esta. Se reconocieron tres de estos iones mayores constituyentes del agua marina en *Xestospongia subtriangularis*: el sodio, el calcio y el potasio. La concentración promedio del sodio en la esponja (5.65%) fue inferior a la del agua de mar (30.62%, Ansari et al. 2004). Por el contrario la concentración de calcio fue superior en la esponja (2.21 %) mientras que en agua marina es de 1.17% (Ansari et al. 2004). Finalmente el potasio tuvo una concentración promedio de 0.82% en la esponja similar al que se reconoce en agua marina con una concentración de 1.10% (Ansari et al. 2004). La presencia de estos tres iones en la composición de *X. subtriangularis* indican una alta presión osmótica en interior del organismo (Libes 1992).

El silicio, el sodio y el fósforo se encontraron en concentraciones superiores en la esponja que en los sedimentos de la desembocadura del río Pánuco (Rosales-Hoz et al. 2005) y sedimentos recolectados en Isla Sacrificios del SAV (Celis-Hernández 2006).

Xestospongia subtriangularis es una esponja silíceica y por lo tanto el silicio forma parte de ésta siendo un elemento indispensable para su crecimiento (Brusca y Brusca 2003) ya que la construcción de su esqueleto está formado por espículas sintetizadas por los esclerositos. Este tipo de células especializadas, ayudan a depositar el silicio en filamentos de proteínas (Belarbi et al. 2003). El valor promedio reconocido en este estudio es similar al reconocido por Libes (1992) con 88.56%. Este elemento fue superior con aproximadamente 28% que en sedimento de la zona (Celis-Hernández 2006).

El sodio también se encontró en una mayor concentración en la esponja (promedio 5.65 %) que en los sedimentos del SAV (2.07 -2.64 Rosales-Hoz et al. 2005, Celis-Hernández 2006) se ha reconocido que las bacterias tienen altas concentraciones de sodio en su composición (Heldal et al. 1985), en *Xestospongia subtriangularis* se reconocieron bacterias en su interior, formado agregados. La presencia de estos organismos podría explicar la alta concentración de este elemento.

El fósforo es el principal componente de las membranas celulares y se encuentra como fosfolípido en todas las células. También es considerado un elemento necesario para los procesos biológicos y su distribución es de tipo nutriente (Libes 1992) es un importante ligando de ésteres de azúcares del DNA y RNA y forma parte de los fosfatos del ATP (Levinton 2001). Los valores de este estudio son superiores con respecto a registros en esponjas de otros estudios (Libes 1992).

Tanto el hierro como el aluminio en *X. subtriangularis* tuvieron concentraciones inferiores (Fe: 0.16%, Al: 0.08%) a los de otras esponjas (0.32%, Libes 1992). Los valores de hierro fueron inferiores a los reconocidos en pastos de *Thalassia testudinum* con influencia de agua continental (Martínez-Vázquez 2007).

El potasio, tuvo concentraciones inferiores en las esponjas analizadas (0.82 %) que en los sedimentos de la región (1.6 a 1.95 %, Rosales-Hoz et al. 2005; Celis-Hernández 2006). El potasio al igual que el sodio, es uno de los principales osmorreguladores en los organismos acuáticos; los cambios significativos en la concentración de este elemento en el interior de las células, puede afectar en el funcionamiento de proteínas importantes en las membranas celulares (Levinton 2001). La baja concentración de este elemento parablemente se vinculó aquí a variaciones locales en los ciclos geoquímicos ya que sólo una insignificante fracción es lábil y disponible para los organismos (Santschi et al. 1999). El sodio y el potasio tuvieron un comportamiento similar en todos los individuos analizados, en donde el ID13 y el ID1, presentaron las mayores concentraciones debido a que son los principales iones osmorreguladores (Millero 2006) (Figura 21a-b).

El calcio es uno de los iones de mayor importancia para organismos marinos pelágicos y benthicos ya que es utilizado para la formación de testas, conchas y estructuras. En *Xestospongia subtriangularis* se encontró en concentraciones bajas (promedio 2.21%) a pesar de su importancia para la vida marina, mientras que en los sedimentos se reconoce con una concentración de aproximada de 10% (Rosales-Hoz et al. 2005).

13.2 Elementos traza

Rubidio y Cesio.- ambos pertenecen al grupo 1, estos elementos tiene distribución conservativa además de presentar la menor afinidad por los organismos (Rayner-Canham 2000, Millero 2006), ya que son elementos geogénicos (Aulinger 2002). Se consideran iones de metales alcalinos y su principal función en el cuerpo es la de balancear cargas negativas asociadas a unidades proteínicas del cuerpo mantenido la presión osmótica dentro de las células (Aulinger et al. 2002).

Berilio, Estroncio y Bario.- El Be, elemento altamente tóxico para los organismos tiene sus fuentes en la bertrandita y berilo (Rayner-Canham 2000). Se considera un elemento de origen atropogénico, sin embargo sólo se reconoció en tres de los 5 individuos colectados y las concentraciones fueron inferiores a las de sedimentos (Aulinger et al. 2002).

El Sr se asocia a aguas de desechos municipales, con alto contenido de detergentes como se reconoció en Barra de Chachalacas (Cedillo Rangel 2006) y en la esponja tuvo un valor menor ($44\mu\text{g g}^{-1}$) a los sedimentos en la región ($190\mu\text{g g}^{-1}$).

El bario tiende a acumularse en las zonas someras (< 0.5 a 1 km) (Rao et al. 2006) y en este estudio el ID10 tuvo un valor promedio superior al reconocido en la esponja *Crambre crambre* (Cebrian et al. 2003) se sabe que una exposición continua a niveles bajos afectan la salud de los organismos, este elemento es altamente tóxico y generalmente precipita con aniones como sulfatos, cloratos, bicarbonatos y carbonatos en el agua de mar (Ansari et al. 2004).

13.3 Metales pesados

Las concentraciones de metales pesados en *Xestospongia subtriangularis* se compararon con las de sedimentos y organismos invertebrados de Veracruz (Figura 27), considerando que el contenido total de los metales en los sedimentos es la suma de diversas fracciones que se encuentran unidas a las partículas sólidas o minerales, parte de estas se encuentran fuertemente unidas, impidiendo cualquier interacción biológica. La fracción disponible, proveniente del intemperismo y descargas antropogénicas, puede incorporarse a sedimentos o a tejidos por los organismos (Campbell y Tessier 1990). Es factible que las esponjas adquieran los metales pesados por este proceso. La legislación nacional carece de límites máximos de los metales en organismos (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 2000) por lo que se compararon con otros criterios utilizados a nivel internacional.

El zinc es uno de los elementos traza más importante después del Fe, es muy abundante y se asocia fácilmente a partículas finas (Rosales-Hoz et al. 2007). El Zn es catalizador de enzimas hidrolasas, resistente a los cambios redox de los potenciales biológicos (Rayner-Canham 2000). El valor promedio reconocido en la esponja fue inferior a los encontrados en sedimentos del Golfo de México (Amezcuca 1998, Santschi et al. 1999) y sedimentos del Sistema Arrecifal Veracruzano (Tovar 2000) y afluentes del río Jamapa (Celis- Hernández 2006). Los valores de la esponja asemejan los de sedimentos de la zona nerítica de Veracruz (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 2000).

Los valores de zinc en *Xestospongia subtriangularis* fueron inferiores a los encontrados en otras esponjas (Cebrian et al. 2003) y organismos como algas, pastos marinos y gasterópodos filtradores del SAV (Tovar 2000) (Figura 27). También fueron inferiores a los encontrados en bivalvos ($172\mu\text{g g}^{-1}$) de la zona del Morro Veracruz (González-Fierro et al. 1994). Esta baja concentración probablemente se deba a que el zinc es un elemento de fácil excreción ejemplificado en el gasterópodo *A. dactylomela* (Tovar 2000) y en la esponja *Halichondria panicea* (Hansen et al. 1995). Estudios recientes (Bao et al. 2008) mencionan que el zinc junto con el cobre tienen efectos sinérgicos sobre los organismos marinos y que actualmente se desconoce el efecto que tendrá la presencia del zinc en diversos productos de belleza, que interactúan con el agua, utilizados comúnmente como shampoos y pomadas antihongos.

En esponjas habitantes de zonas con poca contaminación se encuentran en concentraciones similares a las del agua, por lo que se han considerado como buenos bioindicadores, ya que la entrada de este contaminante al medio, se refleja rápidamente en los tejidos de las mismas (Cebrian et al. 2003). Sin embargo, aún a pesar de las bajas concentraciones su origen y presencia en organismos marinos se ha atribuido a aportes antropogénicos (Aulinger et al. 2002).

El uso primordial del vanadio es en la industria acerera en la región. Los valores registrados en *Xestospongia subtriangularis*, $5.72 \mu\text{g g}^{-1}$ son inferiores a los de hojas de lirio acuático ($54.33 \mu\text{g g}^{-1}$, Cedillo-Rangel 2006) y a sedimentos de la zona ($107.82 \mu\text{g g}^{-1}$, Celis-Hernández 2006) (Figura 27). Por el contrario, en *X. subtriangularis* se encuentra levemente más concentrado que en el agua del SAV ($4.017 \mu\text{g g}^{-1}$, Rivera 2006). Lo anterior sugiere una leve acumulación del elemento y que en la literatura han reportado que genera alteraciones fisiológicas y morfológicas (Belarbi et al. 2003). Sin embargo, el vanadio es un elemento de uso metabólico en tunicados y ascidias, quienes al cambiar su estado de oxidación lo utilizan para transportar oxígeno (Rayner-Canham 2000). El vanadio se ha reconocido en estadios de desarrollo temprano de ascidias, principalmente en las membranas de vacuolas de amebocitos y existe la hipótesis de que el vanadio es más fácilmente asimilado por organismos menos desarrollados o en estados de desarrollo primigenios (Meier et al. 1995).

El níquel y el cobalto al igual que otros metales de transición forma parte de complejos enzimáticos de tipo porfirinas (Rayner-Canham 2000). El Ni se ha encontrado en pastos marinos de la misma zona y su presencia se ha sugerido debido al uso industrial (Tovar 2000) (Figura 27). El cobalto en la esponja tuvo valores inferiores ($0.45 \mu\text{g g}^{-1}$) al sedimento ($8.29 \mu\text{g g}^{-1}$), y organismos ($20 \mu\text{g g}^{-1}$) de la zona de estudio. Sin embargo, el níquel en *Xestospongia subtriangularis* tuvo concentración superior ($5.72 \mu\text{g g}^{-1}$) a los valores reconocidos en la columna de agua (79.70ng g^{-1} , Millero 2006) indicando una probable acumulación de este metal (Páez-Osuna 1988).

Se ha observado que la presencia de metales pesados como el níquel, manganeso, cobalto, selenio, cobre, arsénico, aluminio y hierro, en esponjas que habitan cerca de la costa (0.5-1km); como es el caso de *X. subtriangularis*, provocan la disminución en macromoléculas como hexosas, lípidos y pentosas, que disminuyen su crecimiento y capacidad reproductiva, con respecto a las que habitan en mar abierto (Rao et al. 2006).

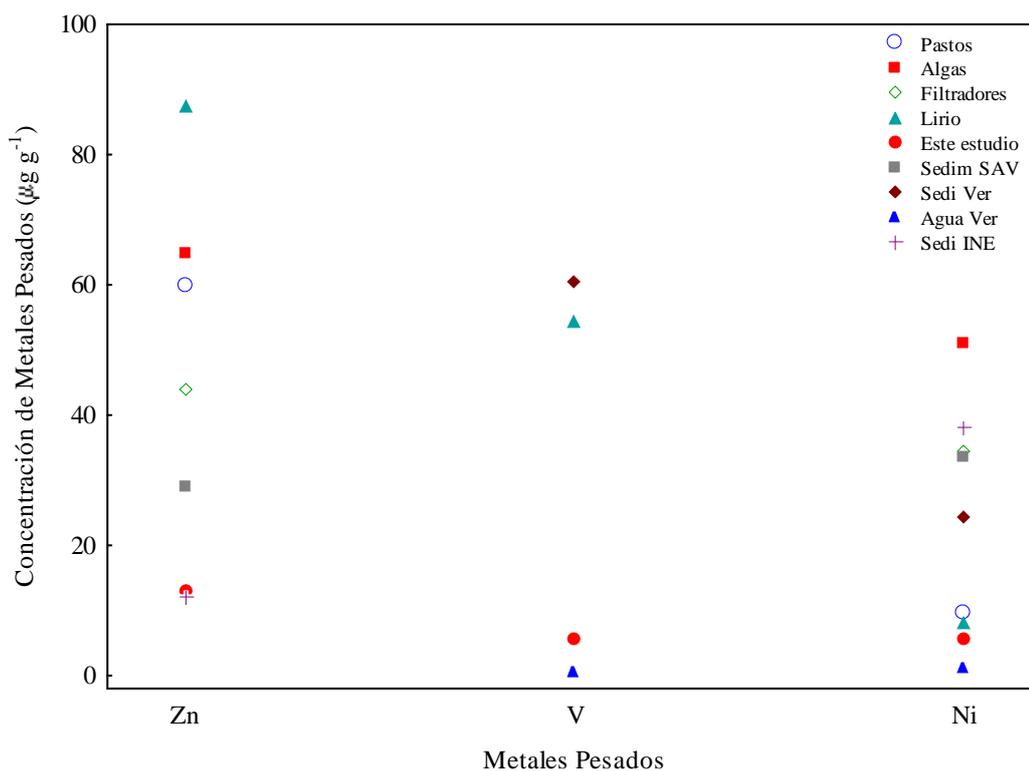


Figura 27 Comparación de metales pesados (Zn, V y Ni) en organismos, agua, sedimentos del SAV y *Xestospongia subtriangularis*.

El cobre es el tercer metal de transición más importante para los organismos superiores, ya que las hemocianinas están formadas con un núcleo de cobre, estas enzimas se presentan en invertebrados como cangrejos, langostas, pulpos y escorpiones (Aulinger et al. 2002). Los valores encontrados en *Xestospongia subtriangularis* fueron inferiores ($5.36\mu\text{g g}^{-1}$) a los reconocidos en organismos ($12.6\mu\text{g g}^{-1}$, Tovar 2000, $25.72\mu\text{g g}^{-1}$, González-Fierro et al. 1994), sedimentos de la zona ($11.07\mu\text{g g}^{-1}$, Celis-Hernández 2006) y a los registrados en pastos marinos de Barra de Chachalacas en Veracruz ($26.0\mu\text{g g}^{-1}$, Cedillo-Rangel 2006). Por el contrario, fueron superiores a los reconocidos en *Petrossia testudinaria* ($2.5\mu\text{g g}^{-1}$, Rao et al. 2006). Por lo tanto, se aprecia una acumulación de cobre en *X. subtriangularis*.

El cobre, es uno de los metales de más fácil acumulación es esponjas, debido a que en solución es fácilmente retenido, como lo reconocieron Hansen et al. (1995) y uno de los de menor capacidad de liberación, por lo tanto, difícilmente es excretado por el organismo (Volesky 2007).

A pesar de que la concentración promedio de cobre en *X. subtriangularis* no se rebasa el límite máximo determinado por el departamento de salud de Australia (1982) (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca 2000) la presencia de este metal en *X. subtriangularis* y otros organismos del SAV indica la constante contaminación en la zona.

Actualmente el zirconio y el molibdeno no están contemplados como metales contaminantes en las normas nacionales para sedimento, organismos y agua (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca 2000). Ambos elementos se consideran únicamente de origen antropogénico (Aulinger et al. 2002). El Zr es utilizado en la fabricación de recipientes de combustible nuclear como la zirconia y en procesos industriales mientras que el molibdeno se reconoce en sistemas biológicos en enzimas (Rayner-Canham 2000). *Xestospongia subtriangularis* tuvo una concentración inferior ($1.067\mu\text{g g}^{-1}$) de zirconio al de hojas en el lirio acuático ($11.5\mu\text{g g}^{-1}$), se ha reconocido su tendencia a acumularse en tejidos de reemplazo lento (Cedillo-Rangel 2006). Por el contrario los valores promedio reconocidos en *X. subtriangularis* de Zr ($1.067\mu\text{g g}^{-1}$) y de Mo ($0.776\mu\text{g g}^{-1}$) fueron elevados con respecto al promedio reconocidos en materia suspendida y sedimentos en el río Elva ($0.0258\mu\text{g g}^{-1}$ y $0.00194\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente) el cual se calificó como altamente contaminado por los diversos procesos industriales de la zona (Aulinger et al. 2002).

Finalmente el plomo es un elemento excesivamente tóxico en ciertas formas químicas, no es esencial para la vida (Libes 1992) y se le reconoce un origen únicamente antrópico (Aulinger 2002). El plomo tiene una alta afinidad por asociarse con el Fe_2O_3 a pH menor a 7, por este motivo se encuentra en mayor concentración en agua que en el suelo (Molin y Kristiansen 1994). Sin embargo, en la zona de estudio se piensa que la presencia de plomo en el mar tiene un origen aéreo y que proviene desde la zona urbana, ya que no se reconoce correlación entre partículas finas (arcillas) y la presencia de éste (Rosalez-Hoz et al. 2007). *Xestospongia subtriangularis* tuvo un promedio inferior ($0.229\mu\text{g g}^{-1}$) que los reconocidos en los sedimentos de la zona nerítica de Veracruz ($88.23\mu\text{g g}^{-1}$, Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 2000), a los del SAV ($47.5\mu\text{g g}^{-1}$, Tovar 2000) y a los de la columna de agua ($0.61\mu\text{g L}^{-1}$ Rivera 2006). Por el contrario tuvo concentraciones similares a los encontradas en la esponja *Petrosia testudinaria* ($0.3\mu\text{g g}^{-1}$ Rao et al. 2006), habitante del Golfo de Manar y a los peces comerciales del Mar del Norte (0.5 a $0.15\mu\text{g g}^{-1}$, Ansari et al. 2004), ambos organismos sin alteraciones fisiológicas.

En el conocimiento general de esponjas, se ha documentado su resistencia a diferentes tipos de contaminantes (Perez et al. 2005, Cebrian et al. 2003) y se les ha denominado biofiltros (Belarbi et al. 2003). También se sabe, que las estrategias en la acumulación de los metales traza varían entre individuos de esponjas, entre especies y entre metales, probablemente como reflejo de las diferentes condiciones fisiológicas de cada individuo (Hansen et al. 1995). Para el caso de *X. subtriangularis*, metales pesados como el Zn, V, Ni, Cu, Mo, Pb y Sb tuvieron una concentración promedio, levemente superior en el individuo colectado a mayor profundidad, lo que podría reflejar una condición fisiológica distinta, sin embargo no se reconocieron diferencias significativas.

13.4 Tierras raras

El estudio de Tierras Raras (RE) en organismos marinos es de importancia debido a que son consideradas buenas trazadoras en la circulación de materiales (Sakamoto et al. 2008). En *Xestospongia subtriangularis*, se reconoció la serie completa de lantánidos en concentraciones de $\mu\text{g g}^{-1}$ (Anexo 3).

Entre los organismos marinos más estudiados para RE se encuentran las algas, a las que se les atribuye la capacidad de concentrar este tipo de elementos (Kano et al. 2001, Sakamoto et al. 2008). Se desconoce si *X. subtriangularis* tiene la capacidad de concentrar tierras raras debido a la falta de estudios anteriores, además de estudios simultáneos en el sedimento y en el agua, sin embargo tuvo concentraciones inferiores a las determinadas en *Sargassum hemiphyllum* y a algas verdes (Sakamoto et al. 2008, Kano et al. 2001) principalmente para RE ligeras (Figura 28). Con excepción del lantano.

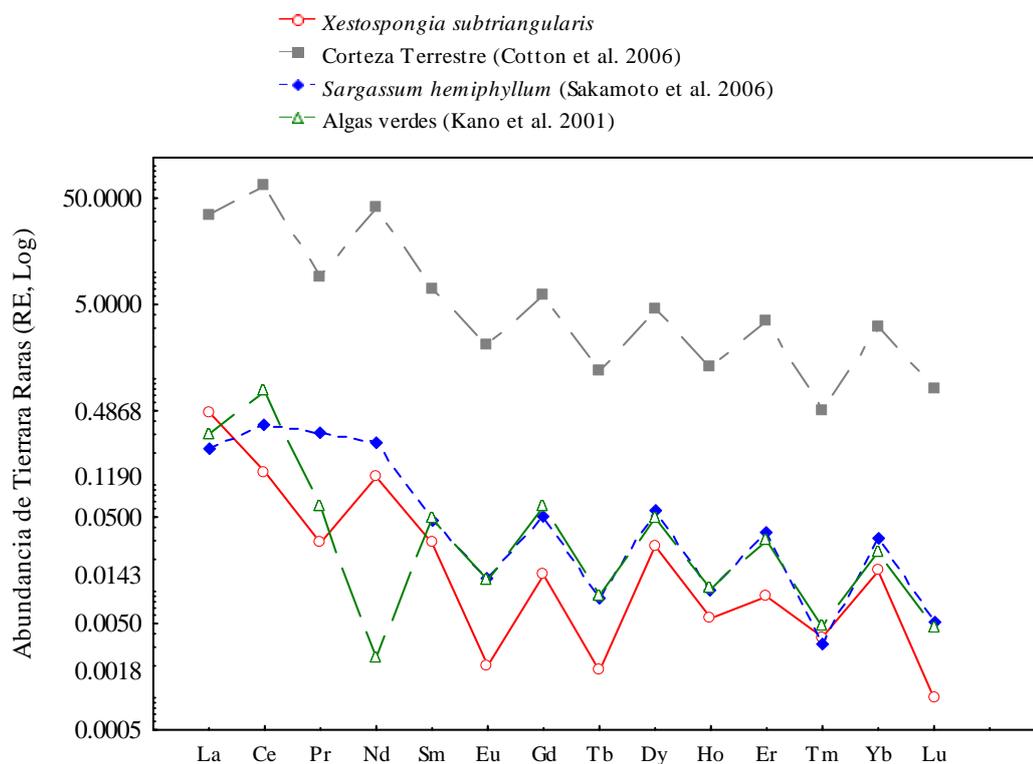


Figura 28 Comparación de Tierras Raras (escala Log) entre el patrón de la corteza, de *Sargassum hemiphyllum*, de algas verdes y de *Xestospongia subtriangularis*.

La concentración de lantano en *Xestospongia subtriangularis* fue superior a la reconocida en diferentes especies de algas y *Sargassum* ($1.12 \times 10^2 \text{ ng g}^{-1}$ y $2.2 \times 10^2 \text{ ng g}^{-1}$ respectivamente, Sakamoto et al. 2008) este valor podría considerarse anómalo debido a su alta concentración y por su valor no se cumple a totalidad la ley Oddo-Harkin, la cual indica que los elementos de números pares (Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Er e Yd) tienen una concentración mayor a la de los números impares (La, Pr, Eu, Tb, Ho, Tm, Lu Handerson 1996). Sin embargo, en estudios anteriores se ha reconocido que en sistemas marinos esta ley no se cumple necesariamente, ya que el comportamiento de las tierras raras, principalmente del lantano en el mar, aún no se conoce en su totalidad (Kameda 1962). Y por lo tanto, el comportamiento de las tierras raras en organismos marinos no es el mismo que en la corteza terrestre.

Debido a la alta concentración del lantano, las tierras raras ligeras tuvieron el 89.88% del total de tierras raras (Tabla 14). La composición silíceo de *Xestospongia subtriangularis* podría relacionarse con las altas concentraciones de lantano, ya que se ha observado que en organismos marinos, el lantano tiende a acumularse en estructuras duras como conchas, caparzones y huesos, con un factor de concentración de 20 veces más que en tejidos y órganos (Kameda 1962). También se ha reconocido que elementos como el La son afectados fuertemente por el material suspendido en el mar (Sakamoto et al. 2006)

La utilización de patrones de RE, actualmente, se usa para investigar la concentración y comportamiento biológico de éstas en el océano, además de iniciar en el desarrollo de una técnica analítica que podría describir el medio ambiente marino (Sakao et al. 1997, Kano et al. 2001, Sakamoto et al. 2008).

La concentración normalizada de tierras raras para cada uno de los individuos se observa en la Figura 24, en *Xestospongia subtriangularis* las tierras raras ligeras fueron más abundantes en aproximadamente en un orden de magnitud a las RE Medias y Pesadas. Esta apreciación se confirma al aplicar la proporción La/Ho para determinar la abundancia de RE pesadas, en donde se obtuvo un valor muy alto, indicando una baja concentración de RE pesadas concordando con los antecedentes que indican que las tierras raras ligeras, es decir, con los menores números atómicos, son incompatibles con los otros radios iónicos y por lo tanto están más concentrados en la corteza terrestre, que las tierras raras pesadas o número atómico mayor. Así que el lantano, cerio,

praseodimio y neodimio son las más abundantes en la corteza continental y son adquiridos por los organismos al presentarse la disolución o la erosión (Grupta y Krishnamurthy 2004, Cotton et al. 2006)

Se sabe que los patrones de concentración de tierras raras varía ampliamente dependiendo de la especie e incluso del phylum (Kano 2001), sin embargo, el patrón de *X. subtriangularis* presentó similitud entre todos los individuos. En el conjunto de individuos se pudo apreciar, en la Figura 24, cuatro anomalías negativas, la principal es la de Eu, seguida del Tb, después la de Ce y finalmente la de Er.

Se ha reconocido que el Eu, el Ce y el Yb tienen valencia +3, sin embargo pueden tomar valencia +2, y al oxidarse pueden tomar una tetravalencia, provocando anomalías de comportamiento en las muestras (Sakamoto et al. 2006, Akagi y Masuda 1998). Las anomalías del Tb y del Er no han sido descritas ni mencionadas anteriormente.

El ID13 recolectado a 0.50 m tuvo enriquecimiento (Figura 24), con respecto a lo otros individuos, indica que se encuentra más afectado por componentes de la corteza terrestre probablemente con la presencia de material terrígeno, con una mayor abundancia de RE pesadas (Sakamoto et al. 2006).

14. Conclusiones

- 1.1 En el conjunto de individuos de *Xestospongia subtriangularis* habitantes del SAV, se reconocieron las características siguientes: es una esponja que tiene un contenido protéico limitado y por lo tanto tiene un crecimiento lento. También posee una composición elemental similar al de las algas, bacterias y fitoplancton, producido *in situ*. Los individuos ID10 e ID13, recolectados a una profundidad de 0.40 y 0.50 m tienen una mejor condición fisiológica que los individuos ID4, 7 y 13.
- 1.2 La obtención de fuentes de carbono del conjunto de individuos está afectada por la ubicación en el arrecife, ya que los individuos recolectados en la zona de la laguna arrecifal (ID4, 7, 13 y 10) tienen un nicho trófico potencial dominado por detritus de pastos marinos, material rivereño y microfítobentos, mientras que el organismo recolectado en la zona oceánica (ID1) tiene un nicho trófico potencial dominado fitoplancton y zooplancton marino.
- 1.3 Las diferencias reconocidas entre los individuos se lograron obtener a partir del análisis elemental de carbono y nitrógeno, así como a partir del análisis de isotopía estable de carbono y de nitrógeno por lo tanto se acepta la hipótesis nula.
- 1.4 Gracias al análisis de isotopía estable de nitrógeno se logró corroborar que, *Xestospongia subtriangularis* tiene un papel de consumidor primario y que la composición isotópica de $\delta^{15}\text{N}$, está afectada por excedentes de nitratos y nitritos de la zona.
- 2.1 Existen diferencias significativas en la composición elemental de C_{org} entre las capas que constituyen a *Xestospongia subtriangularis*, que en esta tesis se atribuyen a la presencia de organismos fotoautotróficos y a compuestos químicos. La capa interna se caracteriza por tener una concentración superior de elementos mayores como el sodio, y potasio, mientras que la capa externa se ve afectada por aluminio proveniente de materiales terrígenos.
- 2.2 Debido a la ausencia de variabilidad en la composición isotópica de carbono y de nitrógeno entre las capas, se pueden hacer las siguientes conclusiones: que tanto la capa interna como la capa externa se rigen por un metabolismo similar, caracterizado por fuentes de alimentación consumidas en un tiempo breve. La ubicación de la muestra, zona de la laguna arrecifal y zona oceánica, se refleja en la composición de la capa interna y en la externa.

- 2.3 No existieron diferencias significativas entre la capa externa e interna de *Xestospongia subtriangularis*, por lo tanto los cambios en la tonalidad en la esponja no afectan en sus componentes y por lo tanto se acepta la hipótesis nula.
- 3.1 Las concentraciones de elementos mayores no mostraron diferencias significativas entre individuos, sin embargo, el silicio fue el más abundante, seguido del sodio. Las altas concentraciones de silicio se deben a la estructura espicular de *Xestospongia subtriangularis*. Existe una alta presión osmótica en el interior de la esponja debido a la presencia del calcio, sodio y potasio. Estos dos últimos elementos tuvieron patrones de concentración similares en los ID13 e ID1 pertenecientes a la laguna arrecifal. El ID 7 y 4 tuvieron concentraciones similares de Fe.
- 3.2 El metal traza de mayor importancia fue el Ba, que se encuentra en los ID7 e ID 10, de la laguna arrecifal los cuales se ven afectados por su presencia; principalmente el ID7 el cual presentó la condición fisiológica desfavorable.
- 3.3 La concentración general de los metales pesados (Zn, V y Ni) reconocidos en *Xestospongia subtriangularis* fue inferior a la referida en otros organismos y sedimento. Sin embargo, la presencia de metales tóxicos como el Co, Zr, Mo, y Pb en la composición de la esponja indican que el medio se encuentra afectado constantemente por éstos.
- 3.4 Se reconoció la presencia de la serie completa de lantánidos en la composición de *Xestospongia subtriangularis* siendo el lantano el de mayor abundancia. El patrón normalizado de tierras raras presentó anomalías para el Eu, Ce, Yb, Tb y Er.
- 3.5 El ID13 es el más afectado por componentes de la corteza terrestre, mientras que el ID1 está menos afectado.

15. ANEXOS

ANEXO 1. Imágenes (SEM)

La evidencia visual obtenida con microscopio electrónico revela: Imagen 1 agregados de 8-10 μ m , Imagen 2 bacterias de tipo coccal ,

Imagen 1



Imagen 2

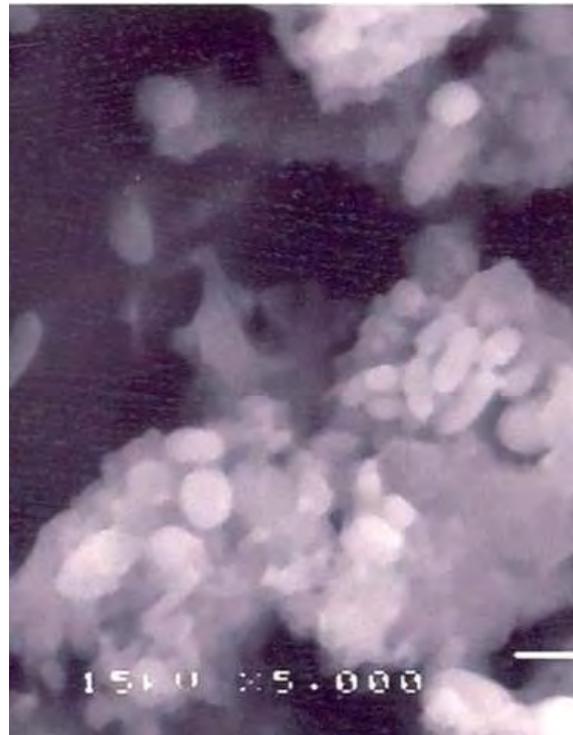


Imagen 3 bacilos de 1 a 2 μ m, Imagen 4 Espículas y dinoflagelado.

Imagen 3



Imagen 4



ANEXO 2. Bases de datos

2.1 Individuos

Los valores en negritas indican los promedios

a. Valores de Clorofila *a* (Chl *a*)

Muestra	Profundidad	Concentración de Clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>)		
			peso húmedo	peso seco
Individuo	(m)	(mgL-1)	(mg g-1)	(mg g -1)
4	0.40	381.21	181.84	40.41
7	0.40	196.11	68.64	16.67
10	1.70	398.42	284.07	60.96
1	8.0	261.82	84.31	20.95
		309.39	154.71	34.75

b. Valores calorimétricos

Muestra	Profundidad	Gasto
	(m)	energético (cal)
ID4	0.40	6.32
ID7	0.40	21.63
ID13	0.50	18.12
ID10	1.70	10.81
ID1	8.0	7.50
		12.88

2.2 Capa interna

Los valores en negritas indican los promedios

- a. Análisis Elemental (AE). Los valores están expresados en porcentaje de peso seco (%).

Muestra	Profundidad (m)	Contenido orgánico		
		C	N	C:N
6	0.40	12.96	3.4	3.8
9	0.40	13.38	3.4	4.0
15	0.50	13.28	3.4	3.9
12	1.70	12.05	3.0	4.0
2	8.0	14.00	3.9	3.6
		13.13	3.43	3.84

- b. Estadística descriptiva del análisis elemental. Los valores están expresados en porcentaje de peso seco (%).

	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est.
C _{org}	15	13.13	11.84	14.04	0.75
N _{org}	15	3.43	3.02	3.92	0.29
C:N	15	3.84	3.56	4.14	0.19

- c. Análisis de Isotopía Estable de carbono y nitrógeno. Los valores están expresados en partes por mil (‰)

Muestra	Profundidad (m)	Proporción isotópica	
		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
6	0.40	-17.34	7.20
9	0.40	-17.08	6.52
15	0.50	-17.50	7.07
12	1.70	-16.63	7.19
2	8.0	-19.43	6.12
		-17.59	6.82

- d. Estadística descriptiva del análisis de isotopía estable de carbono y nitrógeno. Los valores están expresados en partes por mil (‰).

	Valor				
	n	Media	Mínimo	Máximo	Desv. Est.
$\delta^{13}\text{C}$	10	-17.59	-19.46	-16.34	0.11
$\delta^{15}\text{N}$	10	6.82	5.78	7.62	0.45

- e. Elementos Mayores. Los valores están expresados e porcentaje de peso seco (%).

Muestra	Profundidad (m)	Concentración de Elementos Mayores						
		SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	FeO ₃	Al ₂ O ₃
6	0.40	77.04	4.32	0.67	8.92	0.49	0.29	0.08
9	0.40	88.66	3.54	0.43	1.35	0.56	0.24	0.06
15	0.50	83.49	7.06	1.09	0.93	0.96	0.14	0.05
12	1.70	86.22	5.06	0.67	5.02	0.95	0.17	0.12
2	8.0	86.78	5.53	0.74	0.61	0.81	0.16	0.06
		84.44	5.10	0.72	3.37	0.75	0.20	0.07

- f. Valores de Clorofila *a* (Chl *a*)

Muestra	Profundidad (m)	Concentración de Clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>)		
		peso húmedo		peso seco
		(mg L ⁻¹)	(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)
6	0.40	178.20	50.4	9.6
9	0.40	214.05	63.1	13.7
15	0.50	143.37	40.4	7.6
2	8.0	167.22	40.6	7.9
		175.71	48.7	9.7

g. Valores calorimétricos

Muestra	Profundidad (m)	Gasto energético (cal)
6	0.40	8.8
9	0.40	7.4
15	0.50	11.0
12	1.70	1.5
2	8.0	8.7
		7.5

2.3 Capa externa

Los valores en negritas indican los promedios

- a. Análisis Elemental (AE). Los valores están expresados en porcentaje de peso seco (%).

Muestra	Profundidad (m)	Contenido orgánico		
		C	N	C:N
5	0.40	15.30	3.06	5.00
8	0.40	15.21	4.06	3.74
14	0.50	16.16	4.38	3.69
11	1.70	13.39	3.54	3.79
3	8.00	14.90	3.94	3.78
		14.99	3.80	4.00

- b. Estadística descriptiva del análisis elemental. Los valores están expresados en porcentaje de peso seco (%).

	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est
C _{org}	15	14.99	13.18	16.89	1.03
N _{org}	15	3.80	1.06	4.48	0.81
C:N	15	4.46	3.61	14.43	2.76

- c. Análisis de Isotopía Estable de carbono y nitrógeno. Los valores están expresados en partes por mil (‰)

Muestra	Profundidad (m)	Proporción isotópica	
		$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$
5	0.40	-17.34	6.47
8	0.40	-17.57	6.55
14	0.50	-17.68	6.87
11	1.70	-16.95	6.95
3	8.00	-18.90	7.10
		-17.68	6.79

d. Estadística descriptiva del análisis de isotopía estable de carbono y nitrógeno. Los valores están expresados en partes por mil (‰).

	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est.
$\delta^{13}\text{C}$	10	-17.68	-19.12	-16.73	0.19
$\delta^{15}\text{N}$	10	6.79	6.15	7.70	0.36

e. Elementos Mayores. Los valores están expresados e porcentaje de peso seco (%).

Muestra	Profundidad (m)	Concentración de Elementos Mayores						
		SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
5	0.40	85.96	5.172	0.733	1.37	0.89	0.18	0.07
8	0.40	80.16	3.368	0.399	9.47	0.53	0.22	0.11
11	1.70	85.23	4.671	0.573	1.83	1.01	0.19	0.11
3	8.00	77.99	6.028	0.827	5.27	0.8	0.18	0.015
		82.34	4.81	0.63	4.49	0.81	0.19	0.08

f. Valores de Clorofila *a* (Chl *a*)

Muestra	Profundidad (m)	Concentración de Clorofila <i>a</i> (Chl <i>a</i>)		
		(μg L ⁻¹)	peso húmedo	peso seco
			(mg g ⁻¹)	(mg g ⁻¹)
5	0.40	189.59	36.78	9.67
8	0.40	282.18	112.31	25.68
14	0.50	382.49	143.43	29.45
3	8.00	403.95	271.86	60.19
		314.55	141.09	31.25

g. Valores calorimétricos

Muestra	Profundidad (m)	Gasto energético (cal)
5	0.4	ND
8	0.4	26.49
14	0.5	10.93
11	1.7	8.73
3	8	12.12
		14.57

ANEXO 3.

Concentración de Tierras Raras (RE) en el conjunto de individuos de *Xestospongia subtriangularis*

Tierras raras ligeras

Datos anexos en la Tabla 15 y Tabla15a

Concentración de La

En *X. subtriangularis* el lantano varió de 0.553 a 0.425 $\mu\text{g g}^{-1}$, la diferencia entre estos fue de 0.128 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor de la media se ubico en 0.477 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación de 0.057 (n=4). El individuo ID1 presentó la máxima concentración del elemento superando a la media por 0.076 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Concentración de Ce

El Ce tuvo valores de 0.126 y 0.033 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.093 $\mu\text{g g}^{-1}$, la concentración media fue de 0.089 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.043 $\mu\text{g g}^{-1}$ (n=4).

Concentración de Pr

El Pr tuvo valores de 0.029 a 0.016 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.013 $\mu\text{g g}^{-1}$, el valor medio fue de 0.022 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.006 (n=4). El individuo recolectado a 0.5 m presentó un valor superior a la media de 0.007 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Concentración de Nd

Este elemento presentó valores de 0.132 a 0.073 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.059 $\mu\text{g g}^{-1}$, el valor promedio de las mediciones fue de 0.094 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.027 $\mu\text{g g}^{-1}$ (n=4). El organismo ID13 recolectado tuvo la mayor concentración.

Tierras raras medias

Concentración de Sm

El Sm tuvo valores entre 0.031 y 0.019 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.012 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor promedio fue de 0.023 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación estándar de 0.005 (n=4). El individuo ID13 tuvo la concentración máxima.

Concentración de Eu

El Eu tuvo un intervalo de valores de 0.0019 a 0.00004 $\mu\text{g g}^{-1}$, con variación entre ellos de 0.0018 $\mu\text{g g}^{-1}$, la media fue de 0.0011 $\mu\text{g g}^{-1}$ y la desviación estándar de 0.0008 (n=4). El individuo ID10 tuvo el valor máximo superando a la media con 0.0077 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Concentración de Gd

El Gd tuvo un intervalo de valores de 0.014 a 0.005 $\mu\text{g g}^{-1}$, con variación entre ellos de 0.008 $\mu\text{g g}^{-1}$, el valor de la media fue de 0.010 $\mu\text{g g}^{-1}$ y la desviación estándar de 0.0045 (n=4).

Concentración del Tb

Este elemento prestó valores de 0.001 y 0.0004 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.0015 $\mu\text{g g}^{-1}$, el valor promedio de las mediciones fue de 0.0012 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.0007 (n=4). El organismo ID10 tuvo la mayor concentración.

Concentración del Dy

En los individuos de *X. subtriangularis* se encontró con valores de 0.030 a 0.019 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.011 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor promedio fue de 0.022 $\mu\text{g g}^{-1}$ y desviación estándar de 0.005 (n=4). El individuo recolectado a 0.50 m tuvo la mayor concentración y superó a la media con 0.008 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Tierras raras pesadas

Concentración de Ho

El Ho tuvo valores de 0.006 a 0.004 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación entre estos de 0.002 $\mu\text{g g}^{-1}$, el valor de la media fue de 0.004 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.001 (n=4) (Tabla 17). El individuo recolectado a 0.5 m presentó un valor superior a la media de 0.002 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Concentración de Er

El Er se ubicó entre 0.009 y 0.005 $\mu\text{g g}^{-1}$, la diferencia entre estos valores fue de 0.003 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor de la media fue de 0.006 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación de 0.001 $\mu\text{g g}^{-1}$ (n=4). El individuo colectado a 0.5 m presentó la máxima concentración del elemento superando a la media con 0.002 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Concentración del Tm

El Tm tuvo concentraciones de 0.004 y 0.002 $\mu\text{g g}^{-1}$, la diferencia de estos fue de 0.001 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor de la media fue de 0.003 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.0008 (n=4). El individuo ID13 presentó la máxima concentración del elemento siendo superior a la media por 0.001 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Concentración de Yb

El iterbio varió en la concentración de 0.017 y 0.011 $\mu\text{g g}^{-1}$, la diferencia de estos datos fue de 0.006 $\mu\text{g g}^{-1}$. El valor de la media fue de 0.013 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación de 0.003 (n=4). El individuo colectado a 0.5 m presentó la máxima concentración del elemento.

Concentración del Lu

El Lu tuvo valores de 0.0012 a 0.0004 $\mu\text{g g}^{-1}$ con variación de 0.0008 $\mu\text{g g}^{-1}$, la concentración media fue de 0.0007 $\mu\text{g g}^{-1}$ con desviación estándar de 0.0004 (n=3). (Tabla 15).

Tabla 15 Descripción de las concentraciones de los elementos de la serie de los Lantanoides (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz

Lantánidos	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est
Sc	4	0.6161	0.4021	0.7489	0.1491
La	4	0.4770	0.4251	0.5532	0.0576
Y	4	0.1211	0.1016	0.1655	0.0300
Nd	4	0.0944	0.0733	0.1325	0.0272
Ce	4	0.0897	0.0337	0.1268	0.0433
Sm	4	0.0237	0.0197	0.0317	0.0055
Dy	4	0.0229	0.0191	0.0309	0.0054
Pr	4	0.0222	0.0165	0.0299	0.0060
Yb	4	0.0130	0.0111	0.0176	0.0031
Gd	4	0.0104	0.0056	0.0143	0.0045
Er	4	0.0068	0.0056	0.0092	0.0017
Ho	4	0.0048	0.0040	0.0068	0.0013
Tm	4	0.0033	0.0027	0.0045	0.0008
Tb	4	0.0012	0.0004	0.0019	0.0007
Eu	4	0.0011	0.0000	0.0019	0.0008
Lu	3	0.0007	0.0004	0.0012	0.0004

Tabla 15a Concentraciones de elementos de la serie de los Lantanoides (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) y profundidad (m) reconocidos en individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz

Muestra	Prof (m)	Lantanoides															
		Sc	La	Y	Nd	Ce	Sm	Dy	Pr	Yb	Gd	Er	Ho	Tm	Tb	Eu	Lu
ID7	0.4	0.6575	0.4892	0.1016	0.0763	0.0774	0.0197	0.0191	0.0184	0.0111	0.0075	0.0058	0.0040	0.0027	0.0010	0.0009	0.0004
ID13	0.5	0.4021	0.4252	0.1655	0.1325	0.1210	0.0317	0.0309	0.0299	0.0176	0.0143	0.0092	0.0068	0.0045	0.0016	0.0017	0.0006
ID10	1.7	0.6557	0.4407	0.1132	0.0955	0.1268	0.0234	0.0211	0.0238	0.0123	0.0141	0.0067	0.0042	0.0027	0.0019	0.0019	0.0012
ID1	8	0.7489	0.5532	0.1041	0.0733	0.0337	0.0202	0.0203	0.0166	0.0111	0.0056	0.0056	0.0043	0.0032	0.0004	0.0000	<LD

ANEXO 4.

Descripción de la Serie de los Actinoides

Concentración de Th

El torio es utilizado junto con el cerio (IV) para lámparas de excursionismo ya que convierte en luz la quema de gas. También es un elemento utilizado en cerámica para la construcción de crisoles ya que resiste hasta 3000° C. En los individuos de *X. subtriangularis* sólo se reconoció en el individuo ID1 con concentración de 0.0041 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Tabla 16).

Concentración de U

El uranio tiene su demanda por los reactores nucleares. El agua de mar presenta 0.003 ppm de uranio y el total en todos los océanos es de 5×10^9 toneladas (Rayner-Canham 2000). Es obtenido de las minas de pechblenda y del proceso de extracción se producen gases de Radón.

En *X. subtriangularis* se reconocieron valores de 0.1155 a 0.0891 $\mu\text{g g}^{-1}$ con una variación entre ellos de 0.0264 $\mu\text{g g}^{-1}$, un valor de la media de 0.1021 $\mu\text{g g}^{-1}$ y desviación estándar de 0.0113 (n=4) (Tabla 16). El individuo ID7 presentó el mayor valor (Tabla 16a).

Tabla 16 Descripción de elementos Actinoides (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) reconocidos en individuos de *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde, Veracruz.

	n	media	valor mínimo	valor máximo	Desv. Est.
Actinoide Th	1	0.0041	0.0041	0.0041	
Actinoide U	4	0.1021	0.0891	0.1155	0.0113

Tabla 16a Concentración de los elementos Actinoides (valores expresados en $\mu\text{g g}^{-1}$) y profundidad (m) reconocidos en *X. subtriangularis* recolectada en Isla Verde Veracruz.

Muestra	Profundidad	Actinoides	
Individuo	(m)	Th	U
7	0.4		0.11555
13	0.5		0.09764
10	1.7	0.00417	0.10598
1	8		0.08911

16. Referencias

Con base al formato de Marine Biology

- Almada-Villela PC, Mcfield M, Kramer P, Richards-Kramer, Arias- González E (2002). Status of Coral Reefs of Mesoamerica- Mexico, Belize, Guatemala, Honduras, Nicaragua and el Salvador. In: Wilkinson C (ed) Status of Coral Reefs of the world. Aus Ins Mar Sci
- Amezcu MA (1998). Poliquetos bénticos indicadores de la calidad del agua y sedimento del río Pánuco, Tamaulipas, México. Tesis de Licenciatura (Biología)-UNAM, Facultad de Ciencias
- Ansari TM, Marr IL, Tariq N (2004) Heavy metals in marine pollution perspective – a mini review. J Applied Sci 4 (1): 1-20
- Aulinger A, Prange A, Niedergesa R, Schmolkea S, Einaxb JX (2002) Characterization of elemental pollution and its variations in sediments and suspended particulate matter from the River Elbe via multi-element analysis combined with chemometric data evaluation. J Environ Monit 4: 942–949
- Ayukai T (1995) Retention of phytoplankton and planktonic microbes on coral reefs within the Great Barrier Reef, Australia. Coral Reefs 14:141-147
- Banse K (1974) The nitrogen-to-phosphorus ratio in the photic zone of the sea and the elemental composition of the plankton. Deep-Sea Res 21: 767-771
- Bao VWW, Leung KMY, Kwok KWH, Zhang AQ, Lui GCS (2008) Synergistic toxic effects of zinc pyrithione and copper to three marine species: Implications on setting appropriate water quality criteria. Mar Pollut Bull 57 : 616–623
- Bearhop S, Adams CE, Richard SW, Fuller A, Hacloed M (2004) Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. J Animal Ecol 73: 1007–1012
- Becker B y Beissinger SR (2006) Centennial decline in the trophic level of an endangered seabird after fisheries decline. Conserv Biol 20 (2): 470–479
- Becerro MA, Paul VJ (2004) Effects of depth and light on secondary metabolites and cyanobacterial symbionts of the sponge *Dysidea granulosa*. Mar Ecol Prog Ser 280: 115–128
- Belarbi EH, Contreras Gómez A, Chisti Y, García Camacho F, Molina Grima e (2003) Producing drugs from marine sponges. Biotechnol Adv 21: 585-598
- Bjerregaard P, Depledge MH (1994) Cadmium accumulation in *Littorina littorea*, *Mytilus edulis* and *Carcinus maenas*: the influence of salinity and calcium ion concentrations. Mar Biol 119: 385-395

- Böhm F, Joachimski MM, Lehnert H, Morgenroth G, Kretschmer W, Vacelet J, Dullo W-Ch (1996) Carbon isotope records from extant Caribbean and South Pacific sponges: Evolution of $\delta^{13}\text{C}$ in surface water DIC. *Earth and Planetary Science Letters* 139: 291-303
- Brusca RC, Brusca GJ (2003) *Invertebrates*. Sinauer Associates, Inc. Sinauer Ma USA. 180-208 pp
- Bouillon S, Raman AV, Dauby P, Dehairs F (2002) Carbon and Nitrogen stable isotope ratios of subtidal benthic invertebrates in an estuarine mangrove ecosystem (Andhra Pradesh, India). *Estuar Coast Shelf Sci* 54: 901–913
- Burja AM, Hill RT (2001) Microbial symbionts of the Australian Great Barrier Reef sponge, *Candidaspongia flabellate*. *Hydrobiol* 461: 41–47
- Campbell PG, Tessier A (1990) Biological availability of metals in sediment: analytical approaches. In: Vernet JP (ed) *Heavy metals in the environment*. Elsevier.
- Carballo JL, Naranjo S (2002) Environmental assessment of a large industrial marine complex based on a community of benthic filter-feeders. *Mar Pollut Bull* 44: 605-610
- Cebrian E, Martí R, Uriz JM, Turon X (2003) Sublethal effects of contamination on the Mediterranean sponge *Crambe crambe*: metal accumulation and biological responses. *Mar Pollut Bull* 46: 1273-1284
- Cedillo Rangel JU (2006) Metales Pesados en *Eichornia crassipes* de Chachalacas, Veracruz y Melaque, Jalisco. Tesis de Licenciatura (Ingeniero Químico)- UNAM, Facultad de Química
- Celis-Hernández O (2006) Estudio químico de sedimentos en el área inmediata al arrecife de isla sacrificios, Veracruz. Tesis de licenciatura de Ingeniero químico metalúrgico, Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cifuentes LA, Coffin RB, Morin J, Bianchi TS, Eldridge PM (1999) Particulate Organic Matter in Gulf of Mexico Estuaries- Implications for net heterotropy. In Bianchi TS, Pennock, JR, Twilley RR, (eds) *Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries*. John Wiley and Sons, Inc, New York, p 239-267
- Cloern JE, Canuel EA, Harris D (2002) Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system. *Limnol Oceanogr* 47(3): 713–729
- Coffin BR, Fry B, Peterson BJ, Wright RT (1989) Carbon isotopic compositions of estuarine bacteria. *Limnol Oceanogr* 34 (7):1305-1310
- Coffin RB, Cifuentes LA, Elderidge PM (1994) The use of stable isotopes to study microbial processes in estuaries. In: Lajtha K, Michener RH (eds) *Stable isotopes in ecology and environmental science*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, p

- 138-157
- Conway NM, Howes BL, McDowell-Capuzzo JE, Turner RD, Cavanaugh CM (1992) Characterization and site description of *Solemya borealis* (Bivalvia; Solemyidae), another bivalve symbiosis. *Mar Biol* 112: 601-613
- Connolly RM, Gorman D, Guest MA (2005) Movement of carbon among estuarine habitats and its assimilation by invertebrates. *Oecologia* 144: 684–691
- Cotton S (2006) Lanthanide and Actinide Chemistry. Jhon Wiley& Sons México
- Crossland CJ, Barnes D J, Borowitzka MA (1980) Diurnal lipid and mucus production in the staghorn coral *Acropora acuminata*. *Mar Biol* 60:81-90
- Currin CA, Newell SY, Paerl HW (1995) The role of standing dead *Spartina alterniflora* and benthic microalgae in salt marsh food webs: considerations based on multiple stable isotope analysis. *Mar Ecol Prog Ser* 121: 99-116
- Daniel WW (2002) Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa Wiley, México
- Davy S, Trautman DA, Borowitzka MA, Hinde R (2002) Ammonium excretion by a symbiotic sponge supplies the nitrogen requirements of its rhodophyte partner. *J Exp Biol* 205: 3505–3511
- De la Lanza EG (1991) Oceanografía de mares mexicanos. A.G.T., México, 569 p
- DeNiro M, Epstein S (1978) Influence of diet on the distribution of carbon nitrogen isotopes in animal. *Geochim Cosmochim Acta* 42: 495-506
- Delecat S, Reitner J (2005) Sponge communities from the Lower Liassic of Adnet (Northern Calcareous Alps, Austria) *Facies* 51: 385–404
- Dorgelo J, Leonards EG (2001) Relationship between C/N ratio of food types and growth rate in the snail *Potamopyrgus jenkinsi* (E. A. Smith). *J N Am Benthol Soc* 20(1):60–67
- Duckworth AR, Samples GA, Wright AE, Pomponi SA (2003) In Vitro culture of the tropical sponge *Axinella corrugata* (Demospongiae): Effect of food cell concentration on growth, clearance rate, and biosynthesis of stevensine. *Mar Biotechnol* 5: 519–527
- Duggins DO, Eckman JE (1997) Is kelp detritus a good source for suspension feeders? Effects of kelp species, age and secondary metabolites. *Mar Bio* 128:489-495
- Eggins SM, Woodhead JD, Kinsley LPJ, Mortimer GE, Sylvester P, McCulloch MT, Hergt JM, Handler MR (1997) A simple method for the precise determination of > 40 trace elements in geological samples by ICPMS using enriched isotope internal standardisation. *Chem Geol* 134: 311-326
- Emery KO (1963) Coral reefs off Veracruz, México. *Geofis Ins* 3:11-17

- Ereskovsky AV, Gonobobleva E, Vishnyakov A (2005) Morphological evidence for vertical transmission of symbiotic bacteria in the viviparous sponge *Halisarca dujardini* Johnston (Porifera, Demospongiae, Halisarcida) *Mar Biol* 146: 869–875
- Estrada EL (2004) Macroinfauna béntica del cañon de Campeche SW del Golfo de México. Tesis de Licenciatura (Biologo)-UNAM Facultad de Estudios Profesionales Iztacala.
- Fisher CR, Childress JJ, Oremland RS, Bidigare RR (1987) The importance of methane and thiosulfate in the metabolism of the bacterial symbionts of two deep-sea mussels. *Mar Biol* 96: 59-71
- France RL (1995) Carbon-13 enrichment in the benthic compared to planktonic algae: food web implications. *Mar Ecol Prog Ser* 124:307-312
- Fry B, Lutes R, Northam M, Parker PL (1982) A $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ comparison of food webs in Caribbean Seagrass Meadows and Coral Reefs. *Aquat Bot* 14:389-398
- Fry B (1988) Food web structure on Georges Bank from stable C, N and S isotopic composition. *Limnol Oceanogr* 33(5):1182-1190
- Fry BA, Sherr EB (1984) $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwaters ecosystems. *Contr Mar Sci* 27:13-47
- Fry BA, Wainright (1991) Diatom sources of ^{13}C -rich carbon in marine food webs. *Mar Ecol Prog Ser* 76:149-157
- Geider RJ, la Roche J (2002) Redfield revised: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis. *Eur J Phycol* 37:1-17
- Gili JM, Coma R (1998) Benthic suspension feeders: their paramount role in littoral marine food webs. *Trends Ecol Evol* 13 (8): 316-321
- Gili JM, Coma R, Orejas C, López-González PJ, Zavala M (2001) Are Antarctic suspension-feeding communities different from those elsewhere in the world?. *Polar Biol* 24: 473-485
- Gnaider E, Bitterlich G (1984) Proximate biochemical composition and caloric content calculated from elemental CHN analysis: a stoichiometric concept. *Oecologia* 62: 289-298
- Goering J, Alexander V, Haubensack N (1990) Seasonal variability of stable carbon and nitrogen isotope ratios of organisms in a north Pacific Bay. *Estuar Coast Shelf Sci* 30:239-260
- Gómez P (2002) Esponjas marinas del Golfo de México y el Caribe, AGT Editor,S.A., México, 134 p

- González-Fierro A, Vázquez Botello A, Villanueva Fragoso S, Ponce Vélez G (1994) Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna Sontecomapan, Veracruz México. *Hidrobiológica* 4 (1-2): 33-43
- Goñi MA, Ruttenger KC, Eglinton TI (1998) A reassessment of the sources and importance of land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. *Geochim Cosmochim Acta* 62 (18) :3055–3075
- Goreau TJ, Macfarlane AH (1990) Reduced growth rate of *Montastrea annularis* following the 1987-1988 coral-bleaching event. *Coral Reefs* 14(4). 253-266
- Govindaraju K (1994). Compilation of Working Values and Sample Description for 383 standard reference materials. *Geostandards Newsletter* 18(2): 33-326
- Green G (1977) Sinopsis taxonómica de trece especies de esponjas del arrecife La Blanquilla, Veracruz, México. *An Ins Cienc Mar Limnol Univ Nac Auton Mex* 4(1): 79-98
- Grupta CK, Krishnamurthy (2004) *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. CRC, Florida
- Guest MA, Connolly RM, Loneragan NR (2004) Carbon movement and assimilation by invertebrates in estuarine habitats at a scale of meters. *Mar Ecol Prog Ser* 278:27-34
- Handerson P (1996). The rare elements: introduction and review. In: Jones AP, Wall F and Williams T (eds) *The mineralogical Society Series 7. Rare Earth Minerals. Chemistry, origen and ore deposits*. Chapman and Hall, pp 1-19
- Hansen IV, Weeks JM, Depledge H (1995) Accumulation of Copper, Zinc, Cadmium and Chromium by the marine sponge *Halichondria panicea* Pallas and the implication for biomonitoring. *Mar Pollut Bull* 31: 133-138
- Hayes JM (1993) Factor controlling ^{13}C contents of sedimentary organic compounds: principles and evidence. *Mar Geol* 113:11-125
- Heikoop JM, Risk MJ, Lazier AV, EN Edinger, Jompa J, Limmon GV, Dunn JJ, Browne DR, Schwarcz HP (2000) Nitrogen-15 signals of anthropogenic nutrient loading in reef corals. *Mar Pollut Bull* 40(7):628-636
- Heldal M, Norland S, Tumyr O (1985) X-Ray microanalytic method for measurement of dry matter and elemental content of individual bacteria. *Appl Environ Microbiol* 50(5): 1251-1257
- Hessler R y Kaharl V (1995) The deep-sea Hydrothermal vent community: an overview. In: Humphris S, Zierenberg R, Mullineaux L, Thompson R (eds) *Seafloor Hydrothermal Systems*. *Geophy Monogr Ser* 91: 72-84
- Hoegh-Guldberg O, Muscatine L, Goiran C, Siggaard D, Marion G (2004) Nutrient-induced perturbations to $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ in symbiotic dinoflagellates and their coral hosts. *Mar Ecol Prog Ser* 280:105-114

- Hooper J, Soest R, Willenz P (2002) *Sistema Porifera: a guide to the classification of sponges*.
- Hooker SK, Iverson SJ, Ostrom P, Smith SC (2001) Diet of northern bottlenose whales inferred from fatty-acid and stable isotopes analyses of biopsy samples. *Can J Zool* 79:1442-1454
- <http://www.ifremer.fr/publi/Postes/index.html>
- <http://www.massachusetts.edu/index> 2008
- Jordán-Dahlgren E (2002) Gorgonian distribution patterns in coral reef environments of the Gulf of Mexico: evidence of sporadic ecological connectivity?. *Coral Reefs* 21: 205-215
- Juniper S, Sibuet M (1987) Ecology of cold seep benthic communities in Japan subduction zones: Spatial organization, trophic strategies and evidence for temporal evolution. *Mar Ecol Prog Ser* 40:115-127
- Kameda K (1962) Study on abundance of rare earth elements in marine organisms. *J Radiat Res* 3-2:89-103
- Kano N, Aoyagi Y, Imaizumi H (2001) Determination of rare earth elements in seaweed and seawater samples on the coast in niigata prefecture by icp-ms after solvent extraction. *Analytical Sciences. The Japan Society for Analytical Chemistry Supplement* 17 :1011-1014
- Kennicutt M, Burke J, MacDonald I, Brooks J, Denoux G, Macko S (1992) Stable isotopes partitioning in seep and vent organisms: chemical and ecological significance. *Chem Geol* 101:293-310
- Koch PL, Fogel ML, Tuross N (1999) Tracing the diets of fossil animals using stable isotopes. In: Lajtha K, Michener RH (eds) *Stable isotopes in ecology and environmental science*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, p 63-92
- Lachance RJ, Traill RJ (1966) Practical solution to the matrix problem in x-ray analysis. *Canadian Spectroscopy*, 11, 43-48
- Lee S, Fuhrman JA (1987) Relationships between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton applied and environmental microbiology. *Appl Environ Microbiol* 53 (6): 1298-1303
- Lee YK, Lee JH, Lee HK (2001) Microbial Symbiosis in Marine Sponges. *The Journal of Microbiology, The Microbiological Society of Korea* 39 (4) :254-264
- Levinton JS (2001) *Marine Biology. Function, biodiversity, ecology*. Oxford University Press, New York, 505 p
- Libes SM (1992) *An introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley & Sons, Inc., New York

- Liu KK, Kaplan IR (1989) The eastern tropical Pacific as a source of ^{15}N -enriched nitrate in seawater off southern California. *Limnol Oceanogr* 34(5) 820-830
- López-Herrera M (1992) Diagnósis taxonómica de las esponjas de las estructuras arrecifales de Antón Lizardo y Puerto de Veracruz. Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM 88
- Macko SA y Ostrom NE (1994) Pollution studies using stable isotopes. In: Lajtha K, Michener RH (eds) *Stable isotopes in ecology and environmental science*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, p 45-62
- Mapa Digital de México INEGI (2008) <http://galileo.inegi.org.mx/website/mexico/viwer.htm>
- Margot H, Acebal C, Toril E, Amils R, Fernández Puentes JL (2002) Consistent association of crenarchaeal Archaea with sponges of the genus *Axinella*. *Mar Biol* 140: 739–745
- Martínez Vázquez AM (2007) Metales pesados (Fe, Cd y Cr) en pastos marinos (*Thalassia testudinum*) de la laguna de Talahou, Quintana Roo: evidencia posible de contaminación del agua subterráneas. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias, UNAM
- Mateo-Cid LE, Mendoza-Gonzalez AC, Galicia Garcia C (1996) Algas marinas de Isla Verde, Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana* 59 (36):59-75
- McClelland JW, Valiela I, Michener RH (1997) Nitrogen stable isotope signatures in estuarine foodwebs: A record of increasing urbanization in coastal watersheds. *Limnol Oceanogr* 42, 930-937
- McClelland JW, Valiela I (1998) Linking nitrogen in estuarine producers to land-derived sources. *Limnol Oceanogr* 43 577-585
- McDonough WF, Sun SS (1995). *The Composition of the Earth* *Chemical Geology* 120(3-4): 223-253.
- Meier R, Boddin M, Mitzenheim S, Kanamori K (1995) Solution properties of Vanadium (III) with regard to Biological Systems. In : Sigel H y Sigel A (eds) *Metal ions biological systems. Vanadium and its role in life*, CRC press, Florida, p 45-83
- Michener RH, Schell DM (1994) Stable isotopes ratios as tracer in marine aquatic food webs. In: Lajtha K, Michener RH (eds) *Stable isotopes in ecology and environmental science*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, p 138-157
- Millero FJ (2006). *Chemical oceanography*. CRC Taylor and Francis Group, Florida, p 55-89

- Minagawa M, Wada E (1984) Stepwise enrichment of ^{15}N along foods chains: further evidence and the relation between animal age. *Geochim Cosmochim Acta* 49:1135-1140
- Molin JC, Kristiansen JC (1994) Lead. In: Sigel H, Sigel A (eds) *Handbook on metals in clinical and analytical chemistry*. CRC, Florida, pp 425-440
- Moreno Sánchez R y Devars S (1999). Abundancia de los metales pesados en la biosfera. In: Cervantes C y Moreno Sánchez R (eds) *Contaminación ambiental por metales pesados. Impacto en los seres vivos*, AGT, México, p 23-31
- Nájera E (2004) *Ecología de Eurythenes gryllus* (Crustacea: amphipoda: lyssianassidae) de la planicie abisal del Golfo de México. Tesis de Licenciatura (Biología)- UNAM, Facultad de Ciencias
- Nakamura M, Kakuda T, Qi J, Hirata M, Shintani T, Yoshioka Y, Okamoto T, Oba Y, Nakamura H, Ojika M (2005) Novel relationship between cytotoxicity of marine-derived metabolite Xestokinone and its family. *Biosci Biotechnol Biochem* 69(9): 1749-1752
- Nieboer E, Richardson DHS (1980). The replacement of the nondescript term “heavy metals” by a biologically and chemically significant classification of metal ions. *Environ Pollut* 1:3-26
- Noriega EE (2001). Metales Pesados en *Thalassia testudinum* (pasto Marino), en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de Licenciatura (Biología)- UNAM, Facultad de Estudios Superiores, Iztacala
- Norrish K, Hutton JT (1969) An accurate X-ray spectrographic method for the analysis of a wide range of geological samples. *Geochim Cosmochim Acta* 33(4):431-453
- Osinga R, Tramper J, Wijffels RH (1999) Cultivation of Marine Sponges. *Mar. Biotechnol.* 1: 509–532
- Osinga R, Belarbi EH, Molina E, Tramper J, Wijffels RH (2003) Progress towards a controlled culture of the marine sponge *Pseudosuberites andrewsi* in a bioreactor. *J Biotech* 100: 141-146
- Páez- Osuna F (1988) Geoquímica de los metales pesados en los sedimentos del Mar de Cortes. Tesis Doctorado (Doctorado en Ciencias del Mar (Oceanografía Química))- UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. Universidad Nacional Autónoma de México. Colegio de Ciencias y Humanidades. Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado 391 p
- Page HM, Lastra M (2003) Diet of intertidal bivalves in the Ría de Arosa (NW Spain): evidence from stable C and N isotope analysis. *Mar Biol* 143: 519–532
- Patel B, Patel S, Balani MC (1985) Can a sponge fractionate isotopes?. *Proc R Soc Lond B* 224:23-41

- Pereyra Díaz D y Pérez Sesma 2005. Hidrología de superficie y precipitaciones intensas 2005 en el estado de Veracruz. www.uv.mx/eventos/inundaciones2005/PDF/ p81-99
- Perez T, Longet D, Schembri T, Rebouillon P, Vacelet J (2005) Effects of 12 years' operation of a sewage treatment plant on trace metal occurrence within a Mediterranean commercial sponge (*Spongia officinalis*, Demospongiae). *Mar Pollut Bull*, 50: 301-309
- Peterson BJ, Fry B (1987) Stable Isotopes in ecosystems studies. *Annu Rev Ecol Syst* 18:293-320
- Peterson BJ, Howarth RW (1987) Sulfur, carbon and nitrogen isotopes used to trace organic matter flow in the salt-marsh estuaries of Sapelo Island, Georgia. *Limnol Oceanogr* 32(6):1195-1213
- Peterson BJ (1999) Stable isotopes as tracers of organic matter input and transfer in benthic food webs: A review. *Acta Oecol* 20 (4) 479–487
- Phillips NW (1984) Role of different microbes and substrates as potential suppliers of specific, essential nutrients of marine detritivores. *Bull Mar Sci* 35:283-298
- Pile AJ, Grant A, Hinde R, Borowitzka MA (2003) Heterotrophy on ultraplankton communities is an important source of nitrogen for a sponge – rhodophyte symbiosis. *J Exp Biol* 206: 4533-4538
- Pile AJ (2005) Overlap in diet between co-occurring active suspension feeders on tropical and temperate reefs. *Bull Mar Sci* 76(3): 743–749
- Pile AJ, Young CM (2006) The natural diet of a hexactinellid sponge: Benthic–pelagic coupling in a deep-sea microbial food web. *Deep-Sea Res I* 53: 1148–1156
- Pile AJ, Patterson MR, Savarese M, Chernykh VI, Fialkov VA (1997) Trophic effects of sponge feeding within Lake Baikal's littoral zone. 2 Sponge abundance, diet, feeding efficiency, and carbon flux. *Limnol Oceanogr* 42(I) :178-184
- Radejewski S, Ineson P, Parekh NH, Murrell JC (2000) Stable isotopes as a tool in microbial ecology. *Nature* 403:646-649
- Rao V.J, Kavitha P, Reddy Ch, Rao TG (2006) *Petrosia testudinaria* as a biomarker for metal contamination at Gulf of Mannar, southeast coast of India. *Chemosphere* 65: 634–638
- Rayner-Canham G (2000) Química inorgánica descriptiva. Pearson Prentice Hall, México D.F
- Reiswig HM (1974) Water transport, respiration and energetics of three tropical marine sponges. *J Exp Mar Biol Ecol* 14: 231-249

- Rhee GY (1978) Effect of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake. *Limnol Oceanogr* 23: 10-25
- Riera P, Richard P (1996) Isotopic Determination of Food Sources of *Crassostrea gigas* Along a Trophic Gradient in the Estuarine Bay of Marennes-Oléron. *Estuar Coast Shelf Sci* 42: 347–360
- Rice DL (1982) The detritus nitrogen problem: new observations and perspectives from organic geochemistry. *Mar Ecol Prog Ser* 9: 153-162
- Richoux NB, Froneman PW (2007) Assessment of spatial variation in carbon utilization by benthic and pelagic invertebrates in a temperate South African estuary using stable isotope signatures. *Estuar Coast Shelf Sci* 71:545-558
- Ridley ChP, Faulkner DJ, Haygood MG (2005) Investigation of *Oscillatoria spongeliae*-dominated bacterial communities in four Dictyoceratid sponges *Appl Environ Microbiol* 71(11): 7366–7375
- Rivera Arriaga E y Borges Souza G (2006) El gran ecosistema marino del Golfo de México: perspectivas para su manejo. Centro EPOMEX JAINA Boletín informativo 16 (1): 30-47
- Rivera 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). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Rosales Hoz L, Carranza Edwards A, Santiago Perez S, Morales De La Garza E. (2005) Spatial trends in the geochemical composition of sediments in the Panuco River discharge area, Gulf of Mexico. *Environ Geol* 48: 496–506
- Rosales-Hoz L, Carranza-Edwards A, Celis-Hernandez O (2007) Environmental implications of heavy metals in surface sediments near Isla de Sacrificios, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol* 78:353-357
- Sabot JL, Maestro P (1995) Lanthanides. In: Kirk-Othmer (ed) *Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th edn. Wiley, New York, pp1091-1115
- Sakamoto N, Kano N, Imaizumi H (2008) Biosorption of uranium and rare earth elements using biomass of algae. *Hindawi Publishing Corporation Bioinorg Chem Appl*. 2008: 706240. doi: 10.1155/2008/706240
- Sakao S, Ogawa Y, Uchida H (1997) Determination of trace elements in sea weed samples by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal Chim Acta* 335(2-3):121–127
- Santavy DL, Willenz P, Colwell RR (1990) Phenotypic Study of Bacteria Associated with the Caribbean *Sclerosponge*, *Ceratoporella nicholsoni*. *Appl Environ Microbiol* 56 (6): 1750-1762

- Santschi PH, Guo L, Means JC, Ravichandran M (1999) Natural organic matter binding of trace metals and trace organic contaminants in estuaries. In: Bianchi S, Pennok J, Twilley R (eds) Biogeochemistry of Gulf of Mexico Estuaries, John Wiley and Sons, Inc, New York, p 347-380
- Schmidt SN, Olden JD, Solomon CH T, Vander-Zanden MJ (2007) Quantitative approaches to the analysis of stable isotope food web data. *Ecology* 88(11): 2793–2802
- Scott KM, Schwedock J, Schrag DP, Cavanaugh CM (2004) Influence of form IA RubisCO and environmental dissolved inorganic carbon on the $\delta^{13}\text{C}$ of the clam-chemoautotroph symbiosis *Solemya velum*. *Environ Microbiol* 6(12): 1210–1219
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (2000) La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México.
- Seiderer LJ, Davis CL, Robb FT, Newel RC (1984) Utilisation of bacteria as nitrogen resource by kelp- bed mussel *Choromytilus meridionalis*. *Mar Ecol Prog Ser* 15:109-116
- Szmant AM, Ferrer LM, FitzGerald LM (1990) Nitrogen excretion and O:N ratios in reef corals: evidence for conservation of nitrogen. *Mar Biol* 104: 119-127
- Szmant AM, Gassman NJ (1990) The effects of prolonged “bleaching” on the tissue biomass and reproduction of the reef coral *Montastrea annularis*. *Coral Reefs* 8:217-224
- Tamez SG (2003). Efecto del enriquecimiento por carbono biogénico sobre la comunidad béntica del fondo marino abisal en la costa noreste de la Península de Baja California. Tesis de Licenciatura (Biologo)- UNAM, Facultad de Ciencias.
- Teece MA, Fogel ML (2004) Preparation of ecological and biological samples for isotopes análisis. In: de Groot PA (Ed) Handbook of stable isotopes analytical techniques. Volume I, Elsevier , 180-202
- Tenore KR y Hanson RB (1980) Availability of detritus of different types and ages to a polychaete macroconsumer, *Capitella capitata*. *Limnol Oceanogr* 25:553-558
- Thermo Electron Corporation (2003) Finnigan ConFlo III Universal Interphase. Operating Manual Revision B 1110042, Bremen Germany.
- Tovar JE (2000). Evaluación de metales pesados en dos sistemas bénticos arrecifales de Veracruz, Ver. Tesis de Licenciatura (Biologo)- UNAM, Facultad de Estudios Superiores, Iztacala
- Tunell JW (1992). Natural versus human impacts to southern Gulf of Mexico coral reef resources. Proceedings of the 7th International Coral Reef Symposium 1:300-306
- Uriz MJ, Turon X, Becerro MA, Galera J (1996) Feeding deterrence in sponge. The role of toxicity, physical defense, energetic contents, and life-history stage. *J Exp Mar Biol Ecol* 205:187-204

- Usher KM, Kuo J, Fromont J, Sutton DC (2001) Vertical transmission of cyanobacterial symbionts in the marine sponge *Chondrilla australiensis* (Desmospongiae). *Hydrobiol* 461: 15–23
- UNEP/IUCN (1998) Coral reefs of the World. Atlantic and Eastern Pacific. UNEP Regional Seas Directories and Bibliographies. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK/ UNEP, p 203-223
- Vander Zanden MJ, Rasmussen JB (2001) Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: implications for aquatic food web studies. *Limnol Oceanogr* 46(8): 2061-2066
- Vargas-Hernández JM, Hernández-Gutiérrez A, Carrera-Parra LF (1993) Sistema arrecifal veracruzano. In: Salazar-Vallejo S, González E (eds) Biodiversidad Marina y Costera de México, CONABIO-CIQRO, México, 559-575 pp
- Vázquez L (1998) Estudio químico-biológico de la esponja marina *Xestospongia subtriangularis* (Duchassaing 1850) Tesis de Maestría en Ciencias del Mar (Oceanografía Biológica y pesquera), UNAM, México 144 p
- Volesky B (2007) Biosorption and me. *Water Res* 41: 4017 – 4029
- Wada E, Hattori A (1976) Natural abundances of ^{15}N in particulate organic matter in the North Pacific Ocean. *Geochim Cosmochim Acta* 40: 249-251
- Walker JL, Potter ChW, Macko SA (1999) Dietary studies of marine mammals using stable C y N isotopic ratios of teeth. *Mar Mamm Sci* 15(2): 314-334
- Ward-Paige C, Risk MJ, Sherwood OA, Jaap WC (2005) Clionid sponge surveys on the Florida Reef Tract suggest land-based nutrient inputs. *Mar Pollut Bull* 51 570–579
- Webster NS, Hill RT (2001) The culturable microbial community of the Great Barrier Reef sponge *Rhopaloeides odorabile* is dominated by an α -Proteobacterium. *Mar Biol* 138: 843-851
- Wetzel RG (1982) *Limnología*, Omega, Barcelona, p 224-278
- Wilkinson CR (1978a) Microbial associations in Sponges I. Ecology, physiology and microbial populations of Coral Reef Sponges. *Mar Biol* 49:161-167
- Wilkinson CR (1978b) Microbial associations in Sponges III. Ultrastructure of the *in situ* associations in Coral Ref Sponges. *Mar Biol* 49:177-185
- Wilkinson CR (1983) Net primary productivity in coral reef sponges. *Science* 4583: 410-412
- Wilkinson CR, Vacelet J (1979) Transplantation of marine sponges to different conditions of light and current. *J Exp Mar Biol Ecol* 37: 91-104

Yamamuro M, Kayanne H, Minagawa M (1995) Carbon and nitrogen stable isotopes of primary producers in coral reef ecosystems. *Limnol Oceanogr* 40 (3) 617-621