



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

CARACTERIZACIÓN DEL NIVEL TRÓFICO DE
Megathura crenulata (SOWERBY, 1825) MEDIANTE EL
USO DE LA SEÑAL ISOTÓPICA DEL $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$

TESIS

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación Biología Marina)

Presenta

Mercedes Magali Gómez Valdez

La Paz, Baja California Sur, Noviembre de 2012

ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 12 horas del día 23 del mes de Noviembre del 2012, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"CARACTERIZACIÓN DEL NIVEL TRÓFICO DE *Megathura crenulata* (SOWERBY, 1825) MEDIANTE EL USO DE LA SEÑAL ISOTÓPICA DEL $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ "

Presentada por el alumno:

Mercedes Magali Gómez Valdez

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN **Biología Marina**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA


DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA
DIRECTORA DE TESIS


DR. SALVADOR LLUCH COTA
CO-TUTOR


DR. PABLO DEL MONTE LUNA
CO-TUTOR


DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA,
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

COMITÉ TUTORIAL

Dra. Elisa Serviere Zaragoza

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Salvador E. Lluch Cota

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
CO-TUTOR

Dr. Pablo del Monte Luna

Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas
CO-TUTOR

COMITÉ REVISOR

Dra. Elisa Serviere Zaragoza

Dr. Salvador E. Lluch Cota

Dr. Pablo del Monte Luna

JURADO DE EXAMEN DE GRADO

Dra. Elisa Serviere Zaragoza

Dr. Salvador E. Lluch Cota

Dr. Pablo del Monte Luna

Dra. Lía Celina Méndez Rodríguez - Suplente

Resumen

Megathura crenulata es un gasterópodo que habita a lo largo del litoral de la costa occidental de Baja California Sur. Tiene importancia económica y farmacológica debido a que su hemolinfa contiene una proteína importante para el tratamiento de algunos tipos de cáncer. En el presente trabajo se tuvo como objetivo analizar la señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata* y de sus principales fuentes de alimento. En Bahía de Tortugas, BCS se realizaron colectas de organismos de *M. crenulata*, así como de dos especies de algas café *Eisenia arborea* y *Macrocystis pyrifera*, una especie de alga roja *Gelidium robustum*, tapetes de algas coralinas articuladas, una especie de pasto marino *Phyllospadix torreyi* y una especie de tunicados, *Didemnum* sp., en los meses de junio y noviembre del 2009 y 2010. Se encontró que el $\delta^{13}\text{C}$ promedio de *M. crenulata* fue de -15 ‰ el cual se mantiene constante en los dos años mientras que el promedio general del $\delta^{15}\text{N}$ fue de 14.8 ‰ y presenta diferencias entre un año y otro. *E. arborea* tuvo un $\delta^{13}\text{C}$ de -19.7 ‰, *M. pyrifera* -15.2 ‰, las algas coralinas articuladas -11.5 ‰, *Gelidium robustum* -22.3 ‰ y *Phyllospadix torreyi* -18.1 ‰. En el caso del $\delta^{15}\text{N}$ *E. arborea* tuvo una señal isotópica de 8.9 ‰, *M. pyrifera* 9.7 ‰, las algas coralinas 10.5 ‰, *G. robustum* 8.3 ‰ y *P. torreyi* 8 ‰. Los tunicados tuvieron un promedio general del $\delta^{13}\text{C}$ de -9.3 ‰ y del $\delta^{15}\text{N}$ de 8.1 ‰. *G. robustum* tuvo el mayor porcentaje de contribución a la señal isotópica de *M. crenulata* con 25%. A partir de los datos del $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata* y *G. robustum* se obtuvo que el nivel trófico de *M. crenulata* es de 3.2 lo cual coincide con lo reportado para organismos omnívoros en trabajos isotópicos. En conclusión, la señal isotópica del gasterópodo refleja la de las macroalgas en mayor medida y muy poco del tunicado que había sido reportado como su principal fuente de alimento, sugiriendo que hay una mayor aportación alimenticia de las macroalgas a largo plazo.

Palabras clave: Isótopos estables, alimentación, *Megathura crenulata*

Abstract

Megathura crenulata is a native gastropod of the rocky shores from California, USA to Baja California Sur, Mexico. This species has economic and pharmacological importance because it contains an important element in the treatment of some cancers. The aim of this study is to analyze the isotopic signature of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of *M. crenulata* and their main food sources. In Bahía Tortugas, Baja California Sur, Mexico. Samplings were made in Bahia Tortugas, Baja California Sur, Mexico. Organisms of *M. crenulata*, two brown seaweeds: *Eisenia arborea* and *Macrocystis pyrifera*, one red seaweed: *Gelidium robustum*, articulated coralline algae, one seagrass: *P. torreyi* and one tunicate: *Didemnum* sp. were collected in July and november of 2009 and 2010. It was found that the $\delta^{13}\text{C}$ of *M. crenulata* was -15 ‰ which remains constant for at least two years while the $\delta^{15}\text{N}$ was 14.8 ‰ and differs from one year to another. *E. arborea* had an $\delta^{13}\text{C}$ of -19.7 ‰, *M. pyrifera* -15.2 ‰, articulated coralline algae -11.5 ‰, *G. robustum* -22.3 ‰ and *P. torreyi* -18.1 ‰. The $\delta^{15}\text{N}$ of *E. arborea* was 8.9 ‰, for *M. pyrifera* 9.7 ‰, coralline algae 10.5 ‰, *G. robustum* 8.3 ‰ and *P. torreyi* 8 ‰. The tunicates had an $\delta^{13}\text{C}$ of -9.3 ‰ and $\delta^{15}\text{N}$ of 8.1 ‰. *G. robustum* had the highest percentage of contribution to the isotopic signature of *M. crenulata* with 25%. With the $\delta^{15}\text{N}$ it was obtained the trophic level of *M. crenulata* resulting 3.2 which agrees with an omnivorous organism in an isotopic approach. In conclusion, the gastropod isotope signal reflects the isotopic signature of macroalgae and very little of the tunicate that had been reported in stomach content analysis as their main food source, suggesting that there is a greater contribution of macroalgae in long term.

Keywords: Stable isotopes, alimentation, *Megathura crenulata*

Dedicatoria

A mi madre:

Una vez más gracias por todo tu apoyo, por la paciencia y el amor infinito.

Te amo.

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. por permitir realizar mis estudios de posgrado y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada con el registro 376127. Al proyecto CONACYT “Biodiversidad y vulnerabilidad en ecosistemas marinos costeros” con clave 83339. A la Dra. Elisa Serviere por su apoyo y dirección en la realización de esta tesis. A la Dra. Alejandra Piñón por todo el tiempo dedicado a este trabajo y por los buenos momentos dentro y fuera de la institución ¡Muchas Gracias! Al comité revisor del presente trabajo, Dr. Salvador Lluch y Dr. Pablo del Monte. Al personal del Laboratorio de Macroalgas y del Laboratorio de Salud Ambiental y Biomedicina por permitirme realizar la tesis dentro de sus instalaciones. A todo el personal de posgrado del CIBNOR por su apoyo en múltiples actividades. Al CONACYT por la beca mixta otorgada y al CIBNOR por el apoyo para adquirir el boleto de avión para realizar la estancia en el extranjero. Al Dr. Jaques Grall por haberme aceptado en su laboratorio. A Ricardo Ahued Bardahuil y a Ricardo Ahued Scala por el gran apoyo de distintos tipos que siempre nos han dado a mí y a mi familia. A mi familia, en especial al gran pilar que es mi querida abuela Margarita; muchas gracias por todo tu amor, paciencia, fortaleza y apoyo ¡Te amo Grandma! A Rodolfo, muchas gracias por todos los momentos, los buenos y los difíciles; gracias por tu paciencia y por tu apoyo ¡Te amo Rod! Muchas gracias a la familia Gómez-Pacheco en especial a Ilhui Gómez y a Rocío Pacheco por todo el cariño y aliento; gracias a Marisol Vázquez por todo su apoyo y a la hermosísima Regina por siempre sacarme una gran sonrisa, las quiero mucho y siempre podrán contar conmigo. A mis compañeros de laboratorio por los buenos momentos que hacen más ameno el trabajo: Tonatiuh Chávez, Pablo Hernández Y Verónica García. Gracias a mis compañeros de la generación 2010-2012, de verdad ha sido un gran placer compartir momentos con ustedes. A mis amigos de aquí y de allá, gracias por seguir cerca de mí.

ÍNDICE

Introducción	1
Antecedentes	3
Tramas tróficas	3
Isótopos	4
Dieta de gasterópodos del Pacífico de Baja California	6
Hipótesis	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos	8
Material y Métodos	9
Área de estudio.....	9
Trabajo de campo.....	10
Trabajo de laboratorio	11
Análisis.....	13
Resultados	14
Datos morfométricos de <i>M. crenulata</i>	14
Señales isotópicas.....	15
<i>Megathura crenulata</i>	15
Macroalgas y pasto marino	18
Tunicado	23
Delta de Carbono 13 vs. delta de Nitrógeno 15	24
Contribuciones	27
Nivel trófico	27
Discusión	28
Bibliografía	35
Anexos	42

Lista de figuras

Figura 1. <i>Megathura crenulata</i>	1
Figura 2. Mapa de distribución de <i>Megathura crenulata</i>	1
Figura 3. Ubicación de Bahía Tortugas, la localidad de muestreo del presente estudio. Incluyendo Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT).....	10
Figura 4. Fuentes de alimento de <i>M. crenulata</i> : <i>E. arborea</i> (Ea), <i>M. pyrifera</i> (Mp), <i>G. robustum</i> (Gr), tapetes de algas coralinas articuladas (Cor); pasto marino <i>P. torreyi</i> (Pt) y <i>Didemnum</i> sp. (Tun). Tomadas de soruipc2.bio.mie-u.ac.jp, divebums.com, seanet.stanford.edu, marlin.ac.uk y northernbushcraft.com	11
Figura 5. Promedios del $\delta^{13}\text{C}$ de <i>M. crenulata</i> en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas, BCS.....	15
Figura 6. Promedios del $\delta^{15}\text{N}$ de <i>M. crenulata</i> en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas, BCS.....	16
Figura 7. Señales isotópicas promedio del $\delta^{13}\text{C}$ de <i>M. crenulata</i> de 2009 y 2010 para la zona de Bahía Tortugas, BCS.....	16
Figura 8. Señales isotópicas promedio del $\delta^{15}\text{N}$ de <i>M. crenulata</i> de 2009 y 2010 para la zona de Bahía Tortugas, BCS.....	17
Figura 9. Promedios del $\delta^{13}\text{C}$ de <i>M. crenulata</i> en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en los dos años de muestreo (2009 y 2010) en Bahía Tortugas, BCS.	17
Figura 10. Promedios del $\delta^{15}\text{N}$ de <i>M. crenulata</i> en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en los dos años de muestreo (2009 y 2010) en Bahía Tortugas, BCS.	18
Figura 11. Promedios del $\delta^{13}\text{C}$ de macroalgas y pasto marino en la localidad Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas, BCS. Ea: <i>E. arborea</i> , Mp: <i>M. pyrifera</i> , Cor: Coralinas, Gr: <i>G. robustum</i> , Pt: <i>P. torreyi</i>	19
Figura 12. Promedios del $\delta^{15}\text{N}$ de macroalgas y pasto marino en la localidad Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas, BCS Ea: <i>E. arborea</i> , Mp: <i>M. pyrifera</i> , Cor: Coralinas, Gr: <i>G. robustum</i> , Pt: <i>P. torreyi</i>	20
Figura 13: Promedios generales del $\delta^{13}\text{C}$ de macroalgas y pasto marino en 2009 y 2010 en Bahía Tortugas, BCS Mp: <i>M. pyrifera</i> , Ea: <i>E. arborea</i> , Cor: Coralinas, Gr: <i>G. robustum</i> , Pt: <i>P. torreyi</i>	21
Figura 14. Promedios generales del $\delta^{15}\text{N}$ de macroalgas y pasto marino en 2009 y 2010 en Bahía Tortugas, BCS Mp: <i>M. pyrifera</i> , Ea: <i>E. arborea</i> , Cor: Coralinas, Gr: <i>G. robustum</i> , Pt: <i>P. torreyi</i>	22
Figura 15. Promedios del $\delta^{13}\text{C}$ de las distintas especies de macroalgas y pasto marino en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en los dos años de muestreo.....	22
Figura 16. Promedios del $\delta^{15}\text{N}$ de las distintas especies de macroalgas y pasto marino en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en los dos años de muestreo.....	23
Figura 17. Valores puntuales del $\delta^{13}\text{C}$ (a) y $\delta^{15}\text{N}$ (b) de tunicados en el mes de julio 2010 en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas BCS.....	24

Figura 18. Valores puntuales del $\delta^{15}\text{N}$ de tunicados en el mes de julio 2010 en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas BCS.	24
Figura 19. Valores generales promedio del $\delta^{13}\text{C}$ graficados contra los del $\delta^{15}\text{N}$ de Bahía Tortugas, BCS en 2009 y 2010.....	25
Figura 20. Valores promedio del $\delta^{13}\text{C}$ graficados contra los del $\delta^{15}\text{N}$ del sitio Rincón de Méndez en Bahía Tortugas, BCS en 2009 y 2010.....	26
Figura 21. Valores promedio del $\delta^{13}\text{C}$ graficados contra los del $\delta^{15}\text{N}$ del sitio Piedra de Trini en Bahía Tortugas, BCS en 2009 y 2010.	26

Lista de tablas

Tabla I. Promedios generales del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de macroalgas y pasto marino de Bahía Tortugas en el 2009 y 2010.	19
Tabla II. Porcentajes de contribución de las fuentes de alimento a la señal isotópica de <i>M. crenulata</i> . En negritas se presenta la mayor contribución para cada caso.	27

Lista de anexos

Anexo 1. Promedios de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de macroalgas y pasto marino de los años 2009 y 2010 en Bahía Tortugas, B. C. S.	42
Anexo 2. Estimaciones del valor de nivel trófico para <i>M. crenulata</i> por localidad, año y fecha de muestreo.	43

Introducción

Megathura crenulata (Fig. 1) también conocida como lapa gigante, es un gasterópodo marino que forma parte de la familia Fissurellidae; se distribuye desde el condado de Mendocino en California, EEUU hasta Isla Asunción en Baja California Sur, México (Fig. 2) (Harris y Markl, 1999).



Figura 1. *Megathura crenulata*

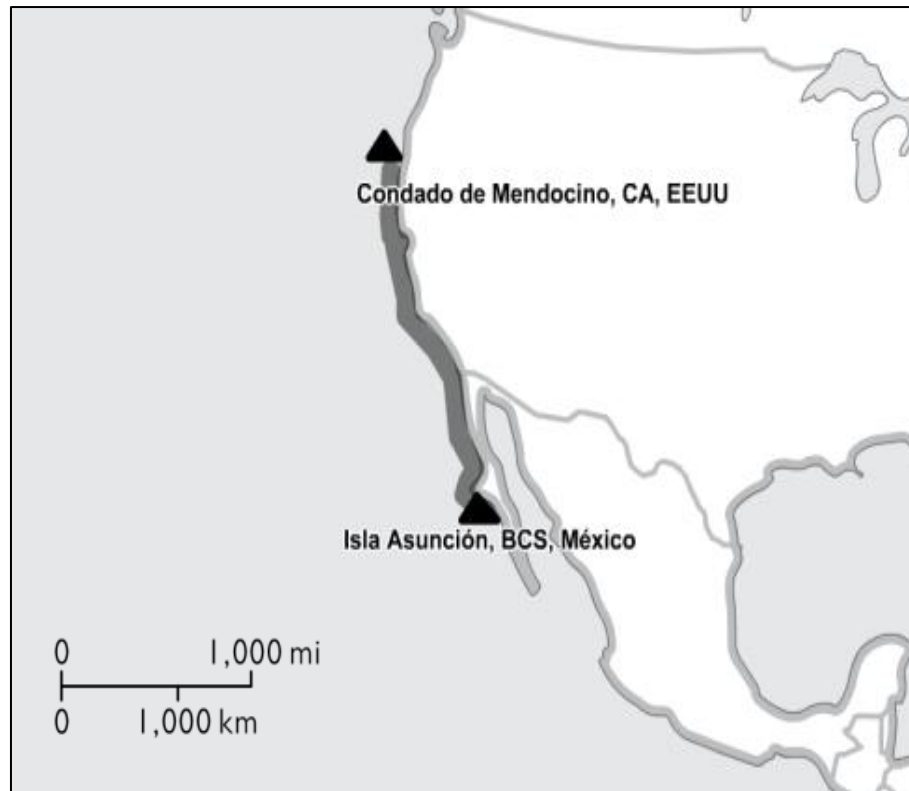


Figura 2. Mapa de distribución de *Megathura crenulata*.

Es una especie de interés debido a que a partir de su hemolinfa se obtiene una proteína respiratoria denominada KLH (Key hole limpet hemocyanin), la cual ha sido sometida a intensa investigación inmunológica ya que es un elemento importante para el tratamiento del cáncer, alergias e inmunosupresión. Debido a la importancia biomédica de dicha proteína (KLH) en California, Estados Unidos se han tratado de hacer cultivos de *M. crenulata*. Se pensaba que el cultivo era una buena opción para asegurar el suministro continuo de KLH sin impactar las poblaciones naturales de la especie. Sin embargo, los cultivos no han tenido buenos resultados ya que los organismos cultivados en laboratorio, en comparación a los que viven en el medio natural, no tienen la misma calidad y cantidad de KLH.

Se ha reportado que la cantidad de esta proteína en la hemolinfa pudiera ser incrementada hasta niveles similares a los observados en poblaciones silvestres normales a través de la dieta. Debido a esto es importante estudiar diferentes aspectos de la biología básica de esta especie para determinar sus requerimientos vitales primordiales, entre lo que se incluye su dieta natural. Sin embargo, la mayor parte de los trabajos que se han realizado con esta especie son relativos a la proteína KLH, tanto desde el punto de vista químico como biomédico (McFadden *et al.*, 2003; Calvillo *et al.*, 2004; Oakes *et al.*, 2004; Martin *et al.*, 2007) y pocos son los estudios que se refieren a su nutrición.

En cuanto a alimentación, mediante ensayos experimentales se ha encontrado que la dieta proporcionada durante el cautiverio tiene un efecto en la calidad de la proteína KLH (Oakes *et al.*, 2004). La dieta de estos organismos ha sido estudiada a partir del análisis de contenido estomacal en la costa occidental de la península de Baja California. Los organismos de *M. crenulata* se alimentan de algas rojas como *Gelidium robustum* y algas coralinas articuladas, algas pardas como *Macrocystis pyrifera*, el pasto marino *Phyllospadix torreyi* y tunicados como *Didemnum* sp. siendo éstos últimos el componente más importante, seguido de las coralinas articuladas, por lo que Aguilar-Mora (2009) describe a la especie como omnívora. Posteriormente, se identificó a las algas coralinas articuladas como el grupo con más contribución a la dieta de los organismos de *M.*

crenulata a partir de isótopos estables de C y N (Gómez-Valdez, 2010), sin embargo, durante el desarrollo de este estudio no se encontró el tunicado que fue identificado como uno de los más importantes en el análisis de contenido estomacal en ciertos sitios. Dado que el estudio se continuó durante el siguiente año, en el presente trabajo se tiene como objetivo integrar la señal isotópica del tunicado y realizar la comparación entre los años 2009 y 2010.

Antecedentes

Tramas tróficas

La supervivencia, el crecimiento y la reproducción de los seres vivos dependen de la cantidad de energía y nutrientes incorporados a través de sus alimentos, es por ello que la depredación y la competencia son procesos ecológicos centrales en la naturaleza. A partir de este último tipo de información se puede tener una idea más clara del funcionamiento trófico de un sistema y la importancia ecológica de ciertas especies. La manera más común para conocer las relaciones tróficas de los organismos de un ecosistema es el análisis de contenidos estomacales donde se sabe que los componentes identificados representan al periodo entre la ingestión y la digestión del alimento, lo cual explica patrones de alimentación sucedidos en el corto plazo. Con este método se puede obtener el nivel trófico de un organismo al utilizar un valor de nivel trófico aproximado de la dieta y los datos del contenido volumétrico del estómago del consumidor (Adams, 1983). Por ejemplo, un pez que consume 40 por ciento de algas (nivel trófico 1) y 60 por ciento de gusanos herbívoros (de nivel trófico 2) tendrá un nivel trófico de $[1 + (0.4 \times 1 + 0.6 \times 2) = 2.6$ (Reyes-Bonilla *et al.*, 2009). Sin embargo, el análisis de contenidos estomacales no aporta información sobre qué componentes son asimilados en mayor medida por el organismo. Es por ello que recientemente se ha utilizado como complemento el análisis de isótopos estables, el cual sirve para obtener información acerca del alimento consumido y asimilado en los tejidos de los organismos a lo largo del tiempo; esto es, patrones de alimentación a largo plazo, dependiendo del tipo de tejido analizado. El alimento en sangre se reflejará en un lapso de

semanas, en el músculo son meses, y en huesos o estructuras duras pueden ser años (Peterson y Fry, 1987). Mediante este análisis se puede tener una descripción del nivel trófico de cada especie, basándose en el enriquecimiento consistente de los isótopos estables de nitrógeno entre presa y depredador permitiendo su uso como medida de la posición trófica de un organismo (Minagawa y Wada, 1984). Además con el método de isótopos estables también se puede hacer una descripción de la variabilidad de la alimentación entre edades, sexos y tiempos (Pasquaud y Lobry, 2007).

Isótopos

Los isótopos son distintas formas de un mismo elemento que difieren en el número de neutrones en el núcleo, confiriéndoles diferencias químicas muy sutiles. Dependiendo del número de neutrones que se tengan, el núcleo puede ser estable (con un número moderado de neutrones, esto es, con una razón N/Z^+ menor a 1) o inestable (con muchos neutrones), lo que hace referencia a los isótopos radioactivos. Éstos se caracterizan por sufrir decaimiento con el tiempo, emiten energía y partículas en su cambio hacia una forma más estable (Fry, 2006). En investigaciones ecológicas, los isótopos estables funcionan como marcadores naturales generalmente siguiendo el camino de la circulación de elementos; las diferencias isotópicas que se presentan en la naturaleza, son producto de reacciones químicas, físicas y biológicas que promueven la discriminación entre los isótopos pesados y ligeros. Las moléculas que tienen isótopos pesados (con mayor masa atómica) tienen enlaces químicos más estables, por lo que se necesita más energía para romperlos. Por esta razón, el fraccionamiento (o separación) isotópico que resulta entre dos depósitos que contienen diferentes proporciones relativas de isótopos, puede explicarse por las diferencias en el estado energético individual de cada isótopo.

Los elementos de particular interés en el entorno actual son aquellos que están ligados fuertemente con la materia orgánica, especialmente Hidrógeno, Carbono, Nitrógeno, Oxígeno y Azufre. Estos elementos son ligeros pero comprenden la mayor parte de la masa presente en materiales orgánicos. Es por las características mencionadas que se ha hecho muy común el uso de los isótopos estables de carbono y nitrógeno en ecología

trófica. La técnica de isótopos estables se basa en el hecho de que las señales isotópicas de las presas se verán reflejadas en los consumidores, transmitiéndose a lo largo de la cadena trófica desde los productores primarios hasta los consumidores. Cuando las relaciones isotópicas de un animal son comparadas con las proporciones del productor primario dominante en un sistema, se puede deducir el origen de la dieta del animal (Michener y Lajtha, 2007).

En el ambiente marino, la técnica con isótopos estables ha sido ampliamente utilizada en peces y en mamíferos (Hoocker *et al.*, 2001; Maruyama *et al.*, 2001; Das *et al.*, 2003; Estrada *et al.*, 2003). En estos trabajos se concluye que las señales isotópicas de los adultos y juveniles son distintas y que la señal isotópica de las hembras es distinta a la de los machos. El uso de isótopos estables para el estudio de la dieta en invertebrados marinos ha sido menos común (Guest *et al.*, 2008; Grall *et al.*, 2006; Jara-Marini, 2008; Won *et al.*, 2008, Gómez-Valdez, 2010), sin embargo, se ha podido establecer el tipo de alimentación y que estos organismos frecuentemente ocupan niveles tróficos intermedios.

La aplicación de la técnica de isótopos estables en macroalgas y pastos marinos (Longhurst, 1981; Boutton *et al.*, 1983; VanderZanden y Rasmussen, 2001) ha mostrado que las señales isotópicas de los productores son muy variables. En la costa oeste de la Península de Baja California el uso de isótopos estables para conocer los hábitos alimenticios de especies marinas ha sido limitado, sin embargo, se tienen trabajos en casi todos los grupos de organismos, entre ellos algunos estudios con peces en los cuales se ha establecido su preferencia alimenticia, ya sea oceánica o costera y diferencias de las señales entre sexos y edades (Aguilar-Castro, 2003; Cabrera-Chavez-Costa, 2003; Velasco-Tarelo, 2005). También se tiene información isotópica de tortugas marinas (*Chelonia mydas*; Santos-Baca, 2008). En el caso de mamíferos marinos se tienen trabajos como el de Romero-Mena (2005) en el que mediante isótopos estables se dio seguimiento a la migración de estos organismos en relación con su alimentación.

Respecto a gasterópodos, se tienen algunos antecedentes a nivel mundial. Se ha analizado la dieta de tres especies de caracoles que habitan en manglares de Tailandia

(*Littoraria scabra*, *L. intermedia* y *L. pallescens*) mediante el análisis de contenido estomacal y de isótopos estables. Para estas especies, se encontró que su alimentación era distinta a pesar de la cercanía en su distribución. El amplio rango de los valores isotópicos encontrados ($\delta^{13}\text{C}$ -24.86 a -17.27 ‰) sugieren una asimilación de carbón de múltiples fuentes (epífitos de hojas y raíces, materia orgánica particulada y detritus de *Rhizophora*). Los valores isotópicos de dicho trabajo son distintos a los resultados obtenidos con análisis de contenidos estomacales probablemente debido a la dificultad de identificación de componentes alimenticios en este último método (Christensen *et al.*, 2001).

En Tasmania se estudió la alimentación de *Haliotis rubra* utilizando el análisis de ácidos grasos y de isótopos estables para determinar la contribución de sus distintas fuentes alimenticias. *H. rubra* tuvo una señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ de -19.8 ± 0.3 ‰ con lo que se determinó que las algas pardas, cuya señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ fue -17.9 ± 0.3 ‰, eran una fuente más importante de alimento que las algas rojas, que tuvieron una señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ más negativa (-30 ± 0.9 ‰; Guest *et al.*, 2008). En Japón, se realizaron análisis de isótopos estables en condiciones de cultivo con organismos de *H. discus hannai* de distintas tallas para deducir la alimentación en medio natural, obteniendo que las algas rojas (-18.5 ‰) y microalgas (-16.4 ‰) eran más importantes para los juveniles ($\delta^{13}\text{C}$ -11.8 ‰), mientras que los adultos ($\delta^{13}\text{C}$ -19.9 ‰) prefirieron las algas pardas (-16.9 ‰; Won *et al.*, 2008).

Dieta de gasterópodos del Pacífico de Baja California

En arrecifes rocosos de la costa occidental de la Península de Baja California, se han realizado estudios de contenido estomacal para conocer la dieta de los grandes gasterópodos de la comunidad bentónica, tales como *Haliotis* spp., *Megastrea undosa* y *Megathura crenulata* (Guzmán del Prío *et al.*, 1991; Serviere *et al.*, 1998; Mazariegos-Villarreal, 2003; Aguilar-Mora, 2009).

En *Haliotis fulgens* se ha reportado que existe variabilidad estacional en la frecuencia y abundancia de las especies presentes en el contenido estomacal de adultos, y

se considera que los cambios en la dieta son un reflejo de los cambios en la disponibilidad del alimento en el medio (Mazariegos-Villareal, 2003). Rivera-Camacho (2009) encontró que existe variación anual en la disponibilidad y presencia de macroalgas importantes en la dieta de los gasterópodos. Aguilar-Mora (2009), en la localidad de Bahía Tortugas, Baja California Sur, encontró que el principal componente de la dieta de adultos de *Megathura crenulata* fue un tunicado del género *Didemnum* (urocordado marino bentónico, sésil que se alimenta de partículas suspendidas en el agua además de plancton) además de otros elementos alimenticios dentro de los cuales se encontró al alga roja *Corallina* spp. como componente importante en el contenido estomacal. En este trabajo se determinó que esta especie es un depredador especialista.

En la misma localidad, se llevó a cabo un estudio sobre la señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para *Megastraea undosa* y *M. crenulata*. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos del músculo fueron diferentes entre las dos especies, registrándose los valores más enriquecidos para *M. crenulata* (-14.3‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ y 15.5‰ para el $\delta^{15}\text{N}$; Gómez-Valdez, 2010). En este estudio no se incluyó la señal de uno de los principales componentes de la dieta de *M. crenulata*, el tunicado, ya que este no se encontró en la zona de estudio durante los muestreos, así que solamente se utilizó la señal isotópica de las macroalgas. Los valores más enriquecidos en carbono pertenecieron a las algas coralinas articuladas (-11.4‰) las cuales fueron el alimento más importante para *M. crenulata* en ambas localidades, y para *M. undosa* en sólo una localidad. El nivel trófico obtenido para *M. crenulata* (2.7) fue superior al de *M. undosa* (1.7) reflejando claramente la diferencia entre sus hábitos alimenticios, ya que *M. crenulata* se ha descrito como un organismo omnívoro y *M. undosa* como un organismo herbívoro (Aguilar-Rosas, *et al.*, 1990; Aguilar-Mora, 2009; Gómez-Valdez, 2010).

En el presente trabajo se tiene como objetivo analizar la señal isotópica de *M. crenulata* y de sus principales fuentes de alimento reportadas en el análisis de contenidos estomacales (macroalgas, pasto marino y una especie de tunicado) y calcular el nivel trófico de esta especie a partir de las señales isotópicas obtenidas.

Hipótesis

El análisis del contenido estomacal de *M. crenulata* resaltó a un grupo de tunicados como el principal componente de su dieta en arrecifes rocosos de la costa occidental de la península de Baja California Sur. Por su parte, el análisis de isótopos estables en estos gasterópodos y en los principales componentes de su dieta, sin incluir tunicados, mostró que las algas coralinas articuladas fueron las que más contribuyeron a su alimentación. En este contexto, la inclusión de la señal isotópica de los tunicados permitirá conocer el nivel trófico así como la(s) principal(es) fuente(s) de alimento para *M. crenulata* a largo plazo.

Objetivo general

Determinar el nivel trófico de *M. crenulata* en Bahía Tortugas, Baja California Sur, mediante su señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en relación a la señal isotópica de sus fuentes de alimento.

Objetivos específicos

- Obtener la señal del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para *M. crenulata* en Bahía Tortugas.
- Describir variaciones de las señales isotópicas de *M. crenulata* lo largo de dos años de muestreo.
- Obtener la señal del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ para algunas de las principales fuentes de alimento, macroalgas y tunicados, de *M. crenulata*.
- Establecer qué recurso alimenticio tiene una mayor aportación a la dieta de *M. crenulata*.
- Determinar mediante el uso de isótopos estables el nivel trófico de *M. crenulata*.

Material y Métodos

Área de estudio

Bahía Tortugas se localiza en la porción central de la costa oeste del Pacífico de Baja California, entre Punta Eugenia, al norte, y Bahía Asunción, al sur. Es un puerto pesquero donde se explota abulón, langosta, caracol y el alga roja *Gelidium* sp. entre otros. Concentra además la producción langostera de cooperativas aledañas. La bahía tiene una extensión de 20.5 km², y una profundidad que va desde los 11 m en el centro hasta los 19 m hacia la boca. Esta se cierra por un par de puntas rocosas de origen ígneo, una de las cuales, la del sureste se prolonga con una serie de pequeños islotes y morros que amortiguan, en gran medida, la fuerza del oleaje y corrientes provenientes del noroeste, que es la dirección de los vientos dominantes (Cervantes-Duarte *et al.*, 1993).

La comunidad bentónica de Bahía Tortugas está dominada por distintas especies, entre las que sobresalen las algas café *Eisenia arborea* y *Macrocystis pyrifera*, las algas rojas *Bossiella orbigibiana*, *Corallina officinalis*, *C. pinnatifolia* y el pasto marino *Phyllospadix torreyi*, además de gasterópodos como *Haliotis corrugata*, *H. fulgens*, *Megastraea undosa* y *M. crenulata* (Guzmán del Prío, 1991).

En la boca de la bahía, en la parte exterior hacia el sur, se encuentra el sitio llamado Rincón de Méndez (RM, 27° 38'N, 114° 51'O) y en la parte exterior hacia el norte se encuentra la Piedra de Trini (PT, 27°39'N, 114°54'O). Ambos son arrecifes rocosos influenciados por las aguas del Pacífico, caracterizados por la presencia estacional de *E. arborea* y *M. pyrifera*. Tienen con una profundidad máxima de 15 metros. Ahí existen bancos abuloneros bien conocidos por los pescadores de la región (Fig. 3).

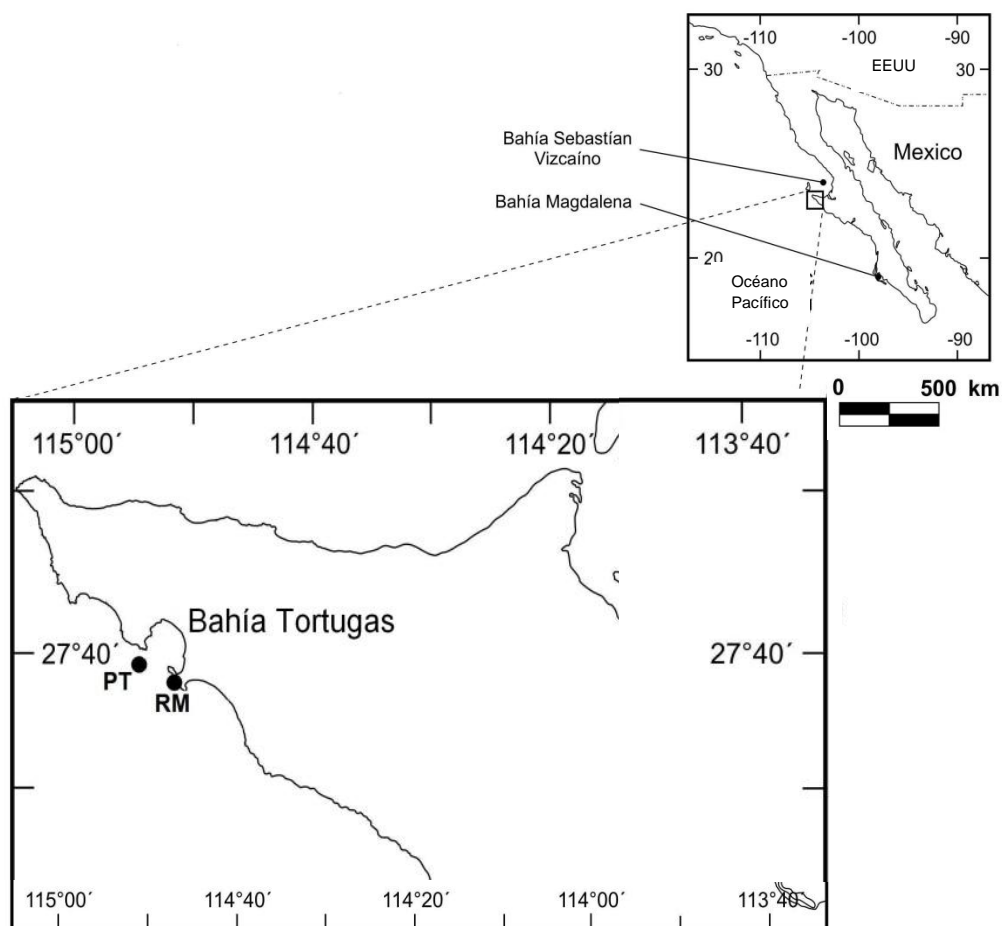


Figura 3. Ubicación de Bahía Tortugas, la localidad de muestreo del presente estudio. Incluyendo Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT).

Trabajo de campo

En Rincón de Méndez y Piedra de Trini se realizaron colectas de organismos de *Megathura crenulata*, en los meses de junio y noviembre del 2009 y 2010; así como de dos especies de algas café *Eisenia arborea* y *Macrocystis pyrifer*, una especie de alga roja, *Gelidium robustum*; tapetes de algas coralinas articuladas, una especie de pasto marino *P. torreyi* y una especie de tunicados (*Didemnum* sp.; figura 4) las cuales, según Aguilar-Mora (2009) forman parte de los principales componentes de la dieta de dicho gasterópodo.

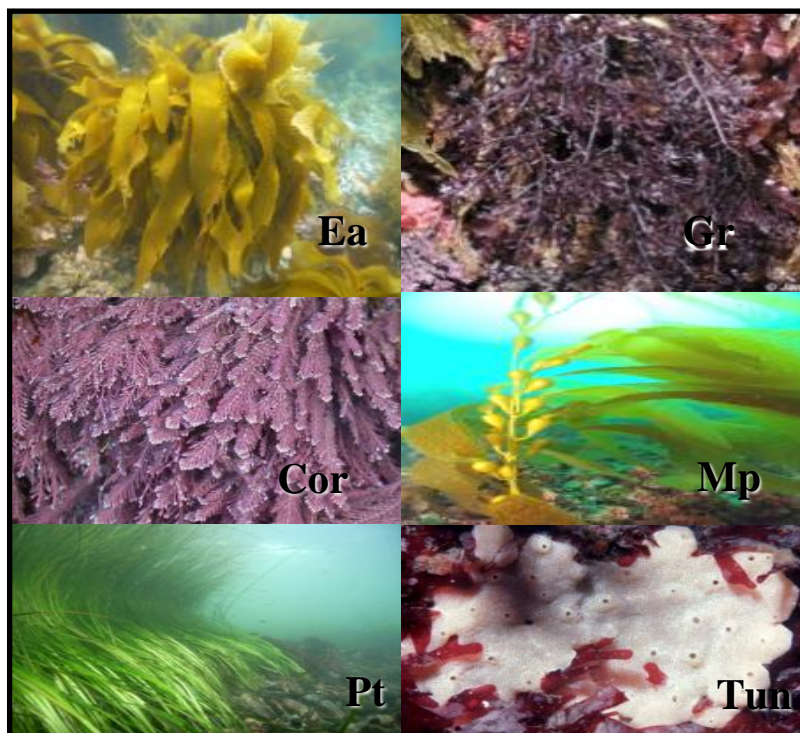


Figura 4. Fuentes de alimento de *M. crenulata*: *E. arborea* (Ea), *M. pyrifer* (Mp), *G. robustum* (Gr), tapetes de algas coralinas articuladas (Cor); pasto marino *P. torreyi* (Pt) y *Didemnum* sp. (Tun). Tomadas de soruipc2.bio.mie-u.ac.jp, divebums.com, seanet.stanford.edu, marlin.ac.uk y northernbushcraft.com

La colecta se realizó manualmente mediante buceo con equipo SCUBA por la mañana entre las 7:00 am y las 9:00 am. Al terminar la jornada de muestreo, las macroalgas, el pasto, el tunicado y los gasterópodos fueron lavados con agua potable para remover sedimentos y sales, y colocados en acuarios hasta su transporte al laboratorio de macroalgas del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. Los gasterópodos fueron transportados vivos y el resto de las especies en fresco usando hieleras con una base de macroalgas.

Trabajo de laboratorio

En el laboratorio los especímenes de *M. crenulata* se conservaron en una tina a 19 °C, con buena aireación y sobre una cama de *M. pyrifer* hasta su procesamiento. Los individuos se midieron con un vernier y se pesaron en una balanza TR-403. Para la obtención de tejido muscular, se realizó la disección de los especímenes, se identificó el

sexo de cada organismo mediante la observación de la coloración de sus gónadas (las hembras presentan gónadas color verde y los machos de color crema) y se obtuvieron muestras de músculo que fueron pesadas y guardadas en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y congeladas hasta su preparación. Las macroalgas, el pasto marino y el tunicado también se congelaron hasta su preparación para retardar el proceso de descomposición.

Posteriormente, el tejido muscular de los gasterópodos se descongeló, se enjuagó con agua destilada y se cortó en pedazos pequeños. Las macroalgas, el pasto y el tunicado, se descongelaron y limpiaron con espátulas y agua para retirar epífitos. Todas las muestras se colocaron en charolas de aluminio (por separado para evitar su contaminación), para posteriormente meterlas en una estufa a 65 °C por 24 horas en el caso del músculo y 48 horas en el caso de las algas, pasto y tunicado esto para retirar toda el agua.

Las muestras ya secas fueron molidas mediante un molidor Wig-L-Bug (Modelo WIG-3110-3a) hasta obtener un polvo muy fino para su posterior análisis. El vial donde se muelen las muestras es agitado a 3200 revoluciones por minuto ocasionando que la bola mezcladora del aparato dé golpes lo suficientemente fuerte como para moler materiales duros. El polvo fino fue guardado en viales de vidrio, etiquetados y conservados en un desecador para evitar humedad.

Para el análisis isotópico se obtuvieron muestras de 1.2 mg de tejido muscular del gasterópodo y 5 mg de tejido de cada especie de macroalga, pasto y tunicado las cuales se empaquetaron individualmente en microcápsulas de estaño (5 mm x 9 mm) y se colocaron en una charola especial rotulada para su envío. Todo el material que se utilizó para empaquetar las muestras en las microcápsulas fue previamente lavado, enjuagado con agua destilada y limpiado con alcohol al 96% para evitar contaminación.

Las muestras ya empaquetadas fueron enviadas al laboratorio de Isotopía estable de la Universidad de California en Davis, EEUU, para su análisis en un espectrofotómetro de masas isotópicas. A todas las muestras se les determinó el contenido de Carbono (C) y

Nitrógeno (N) en un analizador elemental Carlo Erba NA 2100 conectado a un espectrofotómetro de masas Finnigan delta S. Las proporciones isotópicas se determinaron en un analizador de isótopos estables Europa Scientific ANCA-NT 20-20 con un módulo de preparación sólido/líquido.

Las proporciones de isótopos estables de carbono y nitrógeno, se expresaron como valores δ en partes por mil (‰) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\delta X(\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} - 1 \right) \times 1000$$

Donde δX (‰) es el $\delta^{13}\text{C}$ o $\delta^{15}\text{N}$, y R muestra y R estándar son las proporciones de $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ o $^{15}\text{N}:^{14}\text{N}$ en la muestra y en el estándar, respectivamente. Se utilizó un estándar para ^{13}C el cual es calibrado a partir de PDB (estándar universal Pee Dee Belemnite), mientras que el estándar para ^{15}N es calibrado a partir del estándar universal que es el aire atmosférico.

Análisis

Con los valores del $\delta^{13}\text{C}$ y del $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata*, macroalgas, pasto marino y tunicado se obtuvieron promedios y desviaciones estándar. Se realizaron pruebas de normalidad (Shapiro-wilk) y homocedasticidad (Bartlett). Para los datos que pasaron las pruebas, se llevaron a cabo análisis de varianza de una vía (Zar, 1984) que se utilizaron para determinar la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores de las señales isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) entre las presas potenciales de *M. crenulata* y entre las épocas de muestreo (STATISTICA 6).

Mediante una gráfica de $\delta^{15}\text{N}$ vs $\delta^{13}\text{C}$ se compararon las señales isotópicas del músculo de *M. crenulata* con los valores encontrados en los grupos de presas. Al graficar datos de consumidores y de sus fuentes de alimento se espera que el consumidor se encuentre arriba y a la derecha de su alimento (Unkovich *et al.*, 2001).

Para conocer los posibles aportes de carbono de las diferentes fuentes a su consumidor se utilizó el software IsoSource el cual calcula el rango de las contribuciones proporcionales de cada recurso alimenticio a la señal isotópica del consumidor (Phillips y Gregg, 2003). Además se determinó la posición trófica relativa mediante isótopos estables del gasterópodo con la fórmula propuesta por Post (2002):

$$PT = \lambda + \frac{(\delta^{15}N_{Depredador} - \delta^{15}N_{Base})}{\Delta_n}$$

Donde: λ : Posición trófica de la presa (Valor teórico de 1 para las macroalgas) Δ_n : Valor teórico de enriquecimiento en $\delta^{15}N$ por nivel trófico (2.87 para organismos omnívoros, Minagawa y Wada, 1984) $\delta^{15}N_{depredador}$: Promedio de la determinación de $\delta^{15}N$ de los gasterópodos, $\delta^{15}N_{base}$: Determinación de $\delta^{15}N$ para aquella fuente que presente mayor aportación.

En el documento se reporta el promedio \pm desviación estándar.

Resultados

Datos morfométricos de *M. crenulata*

En total se obtuvieron 54 organismos de las colectas realizadas en Rincón de Méndez y Piedra de Trini en Bahía Tortugas en junio y noviembre de 2009 y de 2010. Los organismos presentaron una longitud promedio de 11.3 cm (± 0.3), un ancho promedio de 7.1 cm (± 0.1) y un peso promedio de 157 g (± 4.7).

Los 26 organismos encontrados en Rincón de Méndez tuvieron una longitud promedio de 11.7 cm (± 0.8), un ancho promedio de 7.3 cm (± 1), y un peso promedio de 161 g (± 32.7). En Piedra de Trini se obtuvieron 28 organismos, los cuales presentaron una longitud promedio de 11.5 cm (± 0.9), un ancho promedio de 7 cm (± 1) y un peso promedio de 154 g (± 30). En el 2009 se obtuvieron 24 organismos de *M. crenulata* que tuvieron una longitud promedio de 12 cm (± 1), un ancho promedio de 7.8 cm (± 1) y un peso promedio

de 160 g (± 31.7). Mientras que para el 2010 se obtuvieron 30 organismos, que tuvieron un largo promedio de 11 cm (± 0.6), de ancho 7 cm (± 1) y un peso de 150 g (± 29), similares a los valores obtenidos en el 2009. En ninguno de los casos se encontraron diferencias significativas y tampoco se observó alguna tendencia.

Señales isotópicas

Megathura crenulata

El promedio general de la señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ para el total de organismos de *M. crenulata* fue de -15 ‰ (± 1), mientras que el promedio general del $\delta^{15}\text{N}$ fue de 14.8 ‰ (± 0.9).

En cuanto a las señales isotópicas de los organismos por localidad, se observó el promedio del $\delta^{13}\text{C}$ fue significativamente más positivo en Rincón de Méndez respecto al promedio de Piedra de Trini (Fig. 5).

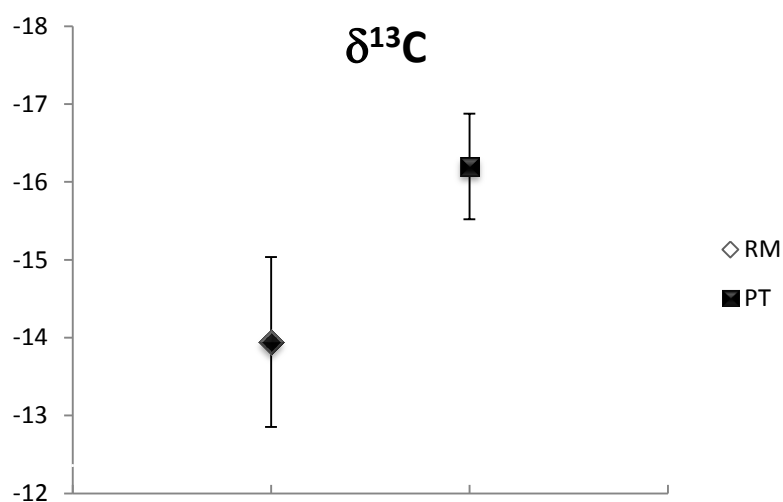


Figura 5. Promedios del $\delta^{13}\text{C}$ de *M. crenulata* en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas, BCS.

Para el caso de la señal isotópica del $\delta^{15}\text{N}$, se observó que el valor obtenido en Rincón de Méndez no fue significativamente mayor que el valor encontrado en Piedra de Trini (Fig. 6).

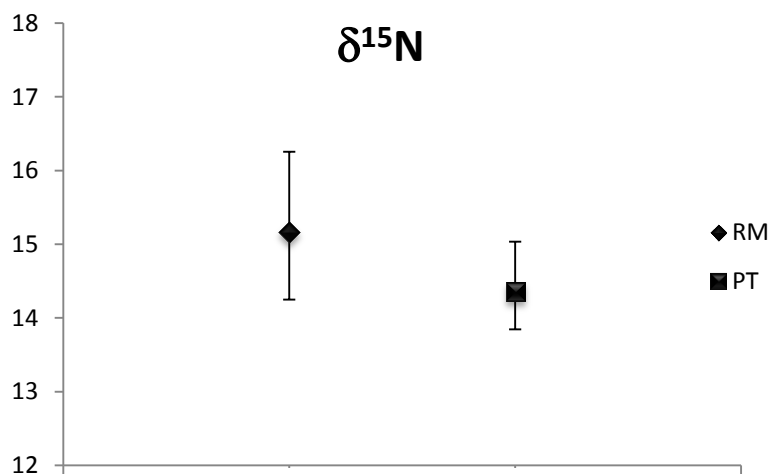


Figura 6. Promedios del $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata* en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas, BCS.

Entre años se obtuvo que en 2009 el valor de $\delta^{13}\text{C}$ de *M. crenulata* no fue estadísticamente diferente que el de las muestras del año 2010 (Fig. 7).

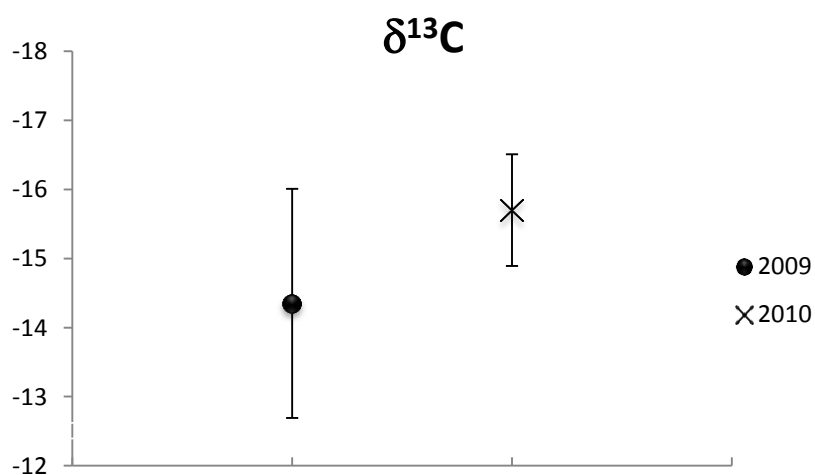


Figura 7. Señales isotópicas promedio del $\delta^{13}\text{C}$ de *M. crenulata* de 2009 y 2010 para la zona de Bahía Tortugas, BCS.

En el caso del $\delta^{15}\text{N}$, el promedio del año 2009 fue significativamente mayor respecto al del 2010 (Fig. 8).

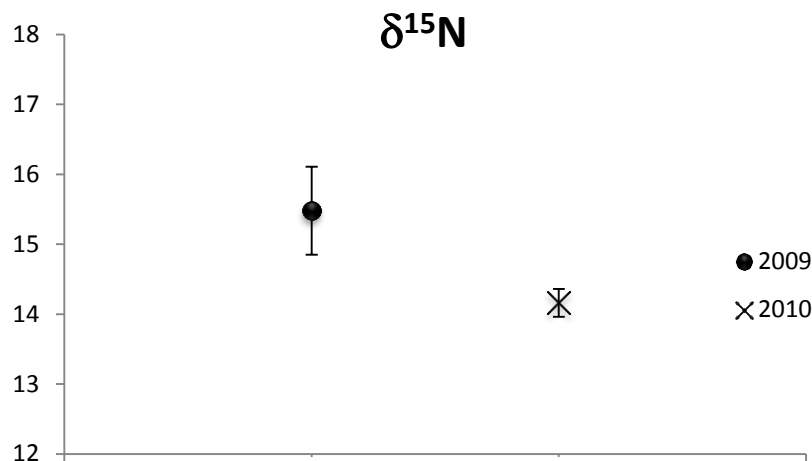


Figura 8. Señales isotópicas promedio del $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata* de 2009 y 2010 para la zona de Bahía Tortugas, BCS.

Con respecto a la señal isotópica por años y por sitios, se obtuvo que el promedio del $\delta^{13}\text{C}$ en el 2009 para Rincón de Méndez fue significativamente más positivo que el del mismo año para Piedra de Trini. El promedio del $\delta^{13}\text{C}$ en el 2010 no presentó diferencias significativas entre sitios (Fig. 9).

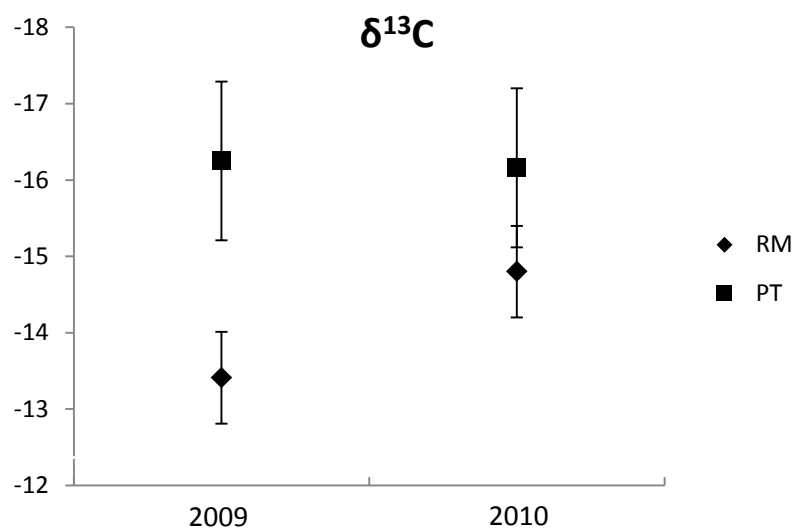


Figura 9. Promedios del $\delta^{13}\text{C}$ de *M. crenulata* en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en los dos años de muestreo (2009 y 2010) en Bahía Tortugas, BCS.

Así mismo, el valor promedio del $\delta^{15}\text{N}$ en el 2009 para Rincón de Méndez fue más positivo que el promedio de Piedra de Trini para el mismo año. En el caso del promedio del $\delta^{15}\text{N}$ en el 2010, no se presentaron diferencias significativas.

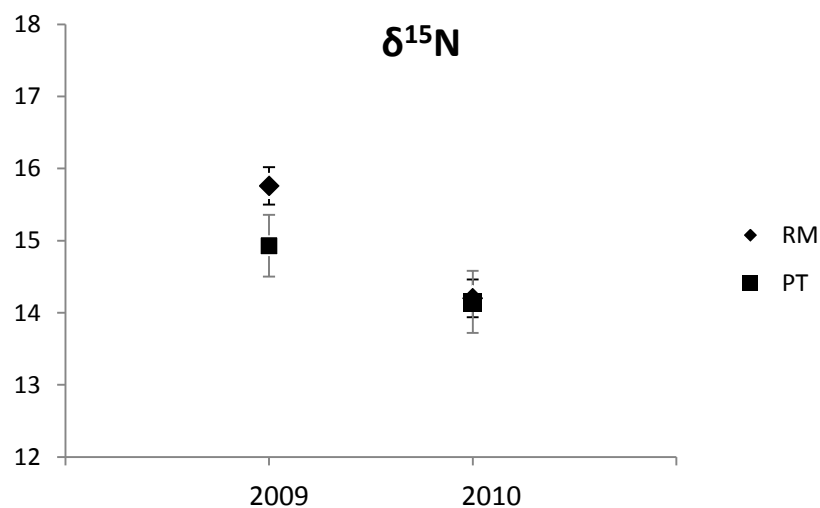


Figura 10. Promedios del $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata* en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en los dos años de muestreo (2009 y 2010) en Bahía Tortugas, BCS.

Macroalgas y pasto marino

Se observó que la señal isotópica más positiva del $\delta^{13}\text{C}$ correspondió a las algas coralinas articuladas mientras que el valor más negativo correspondió a la especie *G. robustum*. El promedio general del $\delta^{15}\text{N}$ más alto correspondió a las algas coralinas y el más bajo fue el de *M. pyrifer* (Tabla I).

Tabla I. Promedios generales del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de macroalgas y pasto marino de Bahía Tortugas en el 2009 y 2010.

Especie	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	Promedio $\delta^{15}\text{N}$
<i>Eisenia arborea</i>	-19.78 ± 0.04	8.95 ± 0.78
<i>Macrocystis pyrifera</i>	-15.26 ± 2.06	9.78 ± 0.29
Coralinas	-11.545 ± 0.57	10.55 ± 0.14
<i>Gelidium robustum</i>	-22.315 ± 0.67	8.35 ± 2.28
<i>Phyllospadix torreyi</i>	-18.15 ± 0.12	8.09 ± 0.53

Los promedios del $\delta^{13}\text{C}$ para ambos sitios muestran que las algas coralinas articuladas tuvieron la señal isotópica más positiva y *G. robustum* tiene la señal isotópica más negativa (Fig. 11). Algunas fuentes de alimento no fueron encontradas en ciertas épocas y sitios, es por ello que en la localidad Rincón de Méndez sólo se incluyen las señales isotópicas de tres fuentes de alimento. *M. pyrifera* tuvo la señal isotópica más positiva y *P. Torreyi* la más negativa en esta localidad.

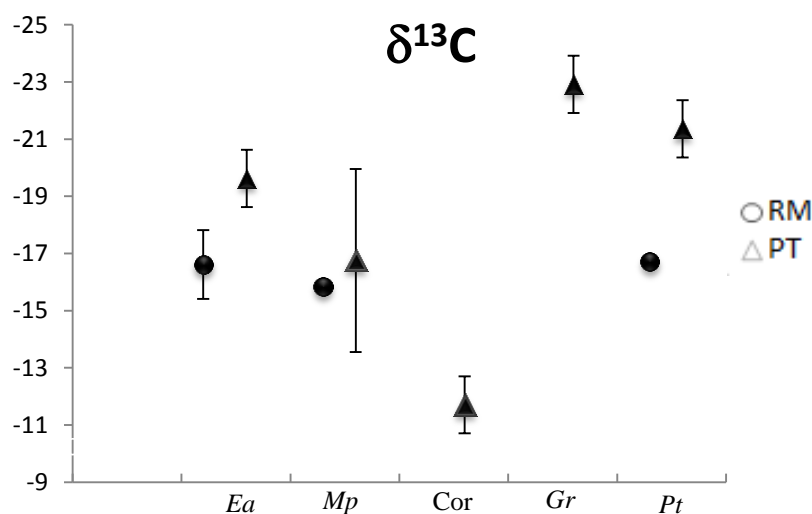


Figura 11. Promedios del $\delta^{13}\text{C}$ de macroalgas y pasto marino en la localidad Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas, BCS. Ea: *E. arborea*, Mp: *M. pyrifera*, Cor: Coralinas, Gr: *G. robustum*, Pt: *P. torreyi*.

En la figura 12 se muestran los valores promedio del $\delta^{15}\text{N}$ de ambos sitios de muestreo. En Rincón de Méndez, se observó que *E. arborea* tuvo la señal isotópica más alta y *P. torreyi* la más baja. Con respecto a los promedios del $\delta^{15}\text{N}$ pertenecientes a la localidad de Piedra de Trini, se observó que las algas coralinas articuladas tuvieron la señal isotópica más alta y la señal isotópica más baja correspondió a la especie *G. robustum*.

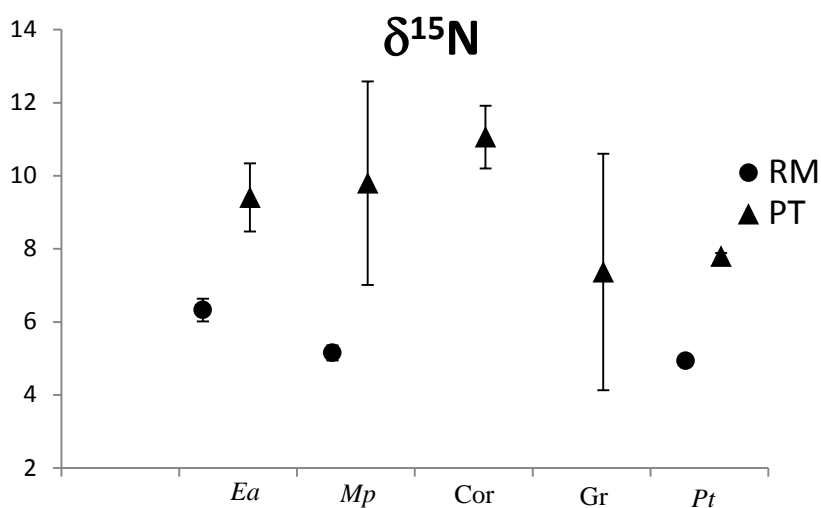


Figura 12. Promedios del $\delta^{15}\text{N}$ de macroalgas y pasto marino en la localidad Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas, BCS Ea: *E. arborea*, Mp: *M. pyrifera*, Cor: Coralinas, Gr: *G. robustum*, Pt: *P. torreyi*.

En ambos años, los valores promedio del $\delta^{13}\text{C}$ de macroalgas y pasto marino mostraron que el valor más positivo fue para las algas coralinas articuladas y el valor más negativo fue para *G. robustum* (Fig. 13).

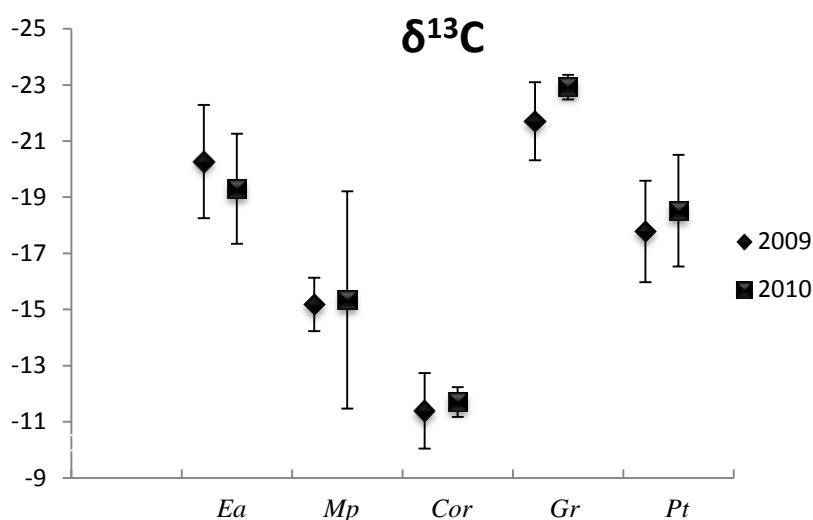


Figura 13: Promedios generales del $\delta^{13}\text{C}$ de macroalgas y pasto marino en 2009 y 2010 en Bahía Tortugas, BCS Mp: *M. pyrifer*, Ea: *E. arborea*, Cor: Coralinas, Gr: *G. robustum*, Pt: *P. torreyi*.

En el caso del $\delta^{15}\text{N}$ para el 2009 se observó que el valor promedio más positivo fue para *M. pyrifer* y el valor más negativo fue para *E. arborea*. Mientras que para el 2010, se observó que el valor promedio más alto fue para las algas coralinas articuladas y el valor más bajo fue para *P. torreyi*.

Al realizar la comparación de las señales isotópicas del $\delta^{13}\text{C}$ y del $\delta^{15}\text{N}$ de macroalgas y pasto marino se observó que estas no variaron considerablemente de un año a otro, no presentaron tendencia y no tuvieron diferencias significativas (Fig. 14).

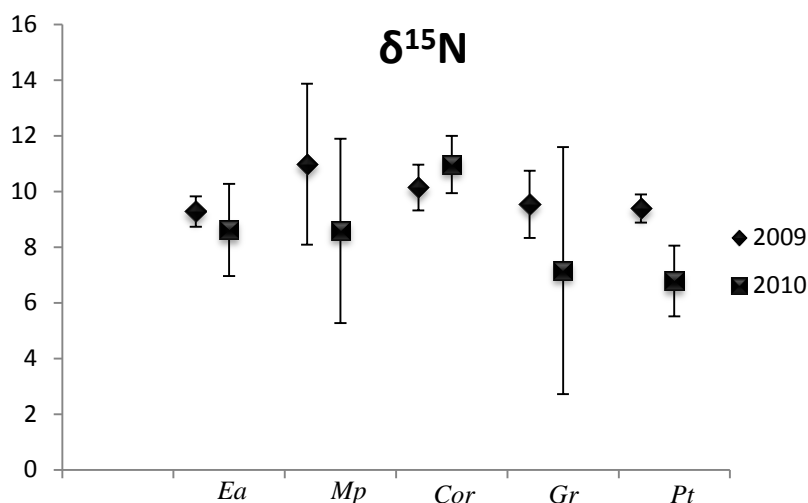


Figura 14. Promedios generales del $\delta^{15}\text{N}$ de macroalgas y pasto marino en 2009 y 2010 en Bahía Tortugas, BCS Mp: *M. pyrifer*, Ea: *E. arborea*, Cor: Coralinas, Gr: *G. robustum*, Pt: *P. torreyi*.

Con respecto a la señal isotópica por años y por sitios, se obtuvo que el promedio del $\delta^{13}\text{C}$ presento diferencias significativas entre 2009 y 2010 sólo para el caso de *E. arborea* en Rincón de Méndez. De igual manera sólo se presentaron diferencias significativas en el caso de las algas coralinas entre 2009 y 2010 en la localidad de Piedra de Trini (Fig. 15).

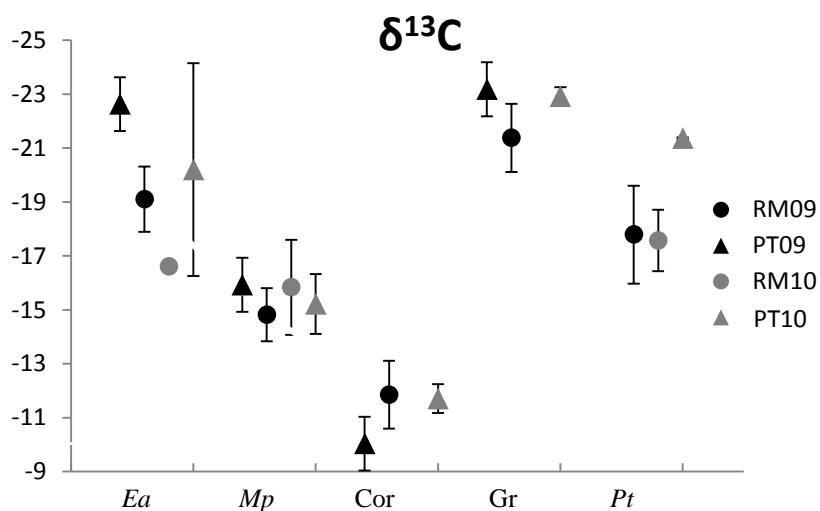


Figura 15. Promedios del $\delta^{13}\text{C}$ de las distintas especies de macroalgas y pasto marino en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en los dos años de muestreo.

Respecto a los valores promedio del $\delta^{15}\text{N}$, se presentaron diferencias significativas en el caso de los valores del 2009 y 2010 de *E. arborea*, *M. pyrifer* y *P. torreyi*. Además

se presentaron diferencias significativas entre 2009 y 2010 de la localidad de Piedra de Trini en el caso de *M. pyrifer* (Fig.16).

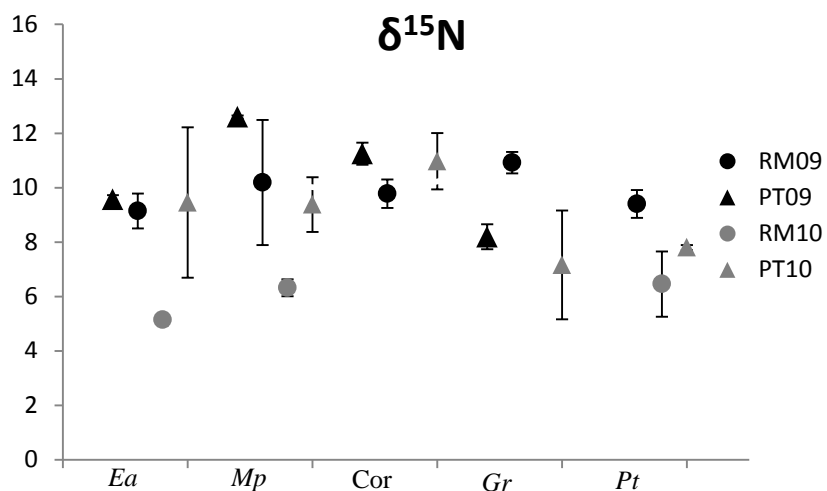


Figura 16. Promedios del $\delta^{15}\text{N}$ de las distintas especies de macroalgas y pasto marino en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en los dos años de muestreo.

Tunicado

Durante los recorridos se obtuvieron dos muestras del tunicado *Didemnum* sp. que se encontró sobre rocas y sobre la concha de *Megastrea undosa*. Una de las muestras correspondió a Rincón de Méndez y otra a la localidad de Piedra de Trini, ambas del mes de julio del 2010.

La señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ de Rincón de Méndez fue más positivo que el de Piedra de Trini (Fig. 17).

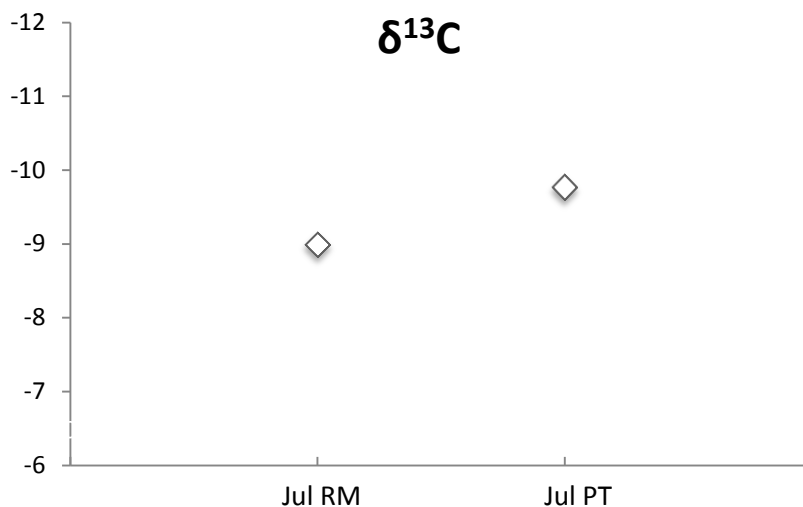


Figura 17. Valores puntuales del $\delta^{13}\text{C}$ (a) y $\delta^{15}\text{N}$ (b) de tunicados en el mes de julio 2010 en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas BCS.

En el caso del $\delta^{15}\text{N}$ las dos señales isotópicas fueron muy similares para las dos localidades muestreadas en el 2010 para los tunicados (Fig. 18).

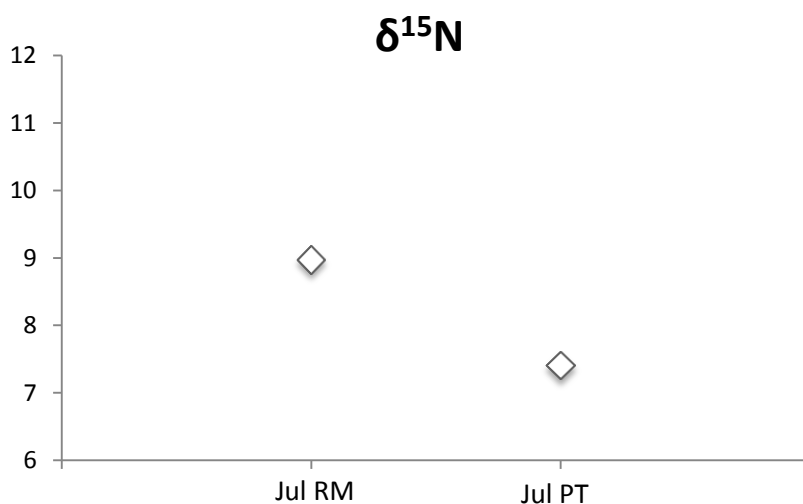


Figura 18. Valores puntuales del $\delta^{15}\text{N}$ de tunicados en el mes de julio 2010 en Rincón de Méndez (RM) y Piedra de Trini (PT) en Bahía Tortugas BCS.

Delta de Carbono 13 vs. delta de Nitrógeno 15

En la Figura 19 se presentan los promedios generales y la desviación estándar del $\delta^{13}\text{C}$ y del $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata* y de sus fuentes de alimento. Como se puede observar, los productores primarios se encuentran en el nivel inferior de la gráfica, con valores más bajos

del $\delta^{15}\text{N}$ que el consumidor que se encuentra en la parte superior. Respecto a la señal isotópica del carbono en la figura se observa que los productores primarios tuvieron diferentes valores. La señal de *M. crenulata* se encuentra arriba y a la derecha de *G. robustum*, *E. arborea* y *P. torreyi* siendo estos quienes pudieran estar contribuyendo a la señal del gasterópodo. Las líneas punteadas corresponden al paso de fraccionamiento para el delta de nitrógeno y de carbono en todos los casos. Es evidente la diferencia entre los productores primarios y los tunicados en la parte inferior de la gráfica y el promedio del consumidor en la parte superior.

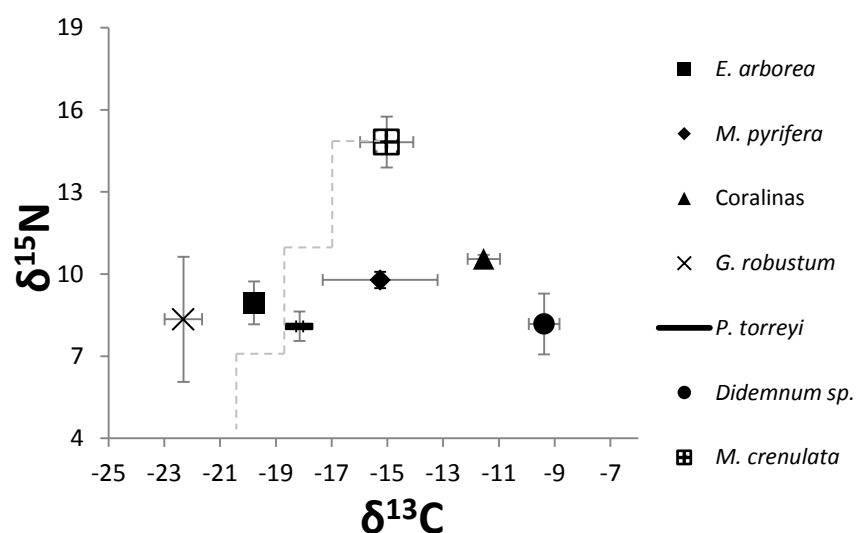


Figura 19. Valores generales promedio del $\delta^{13}\text{C}$ graficados contra los del $\delta^{15}\text{N}$ de Bahía Tortugas, BCS en 2009 y 2010.

En la Figura 20 se presentan los promedios generales y desviación estándar del $\delta^{13}\text{C}$ y del $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata* y sus principales fuentes de alimento para la localidad de Rincón de Méndez. En este caso *M. crenulata* se encuentra arriba y a la derecha de *G. robustum*, *E. arborea* y *P. torreyi* marcado por las líneas punteadas de fraccionamiento.

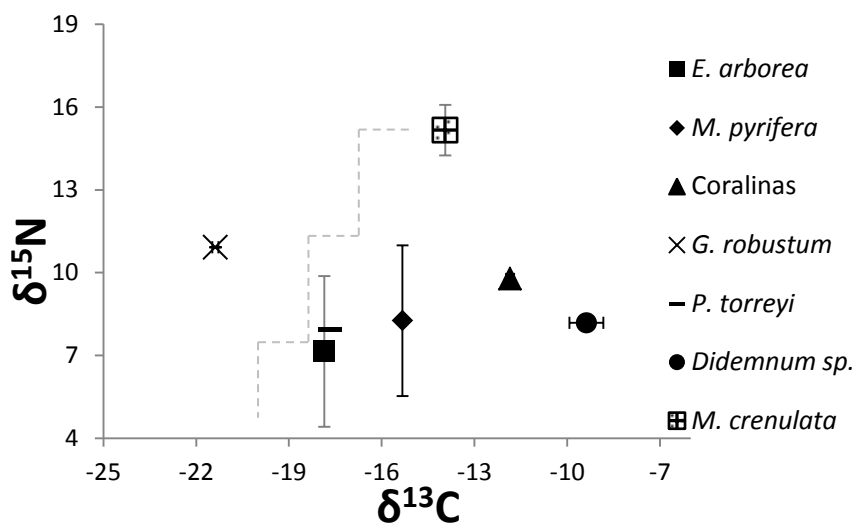


Figura 20. Valores promedio del $\delta^{13}\text{C}$ graficados contra los del $\delta^{15}\text{N}$ del sitio Rincón de Méndez en Bahía Tortugas, BCS en 2009 y 2010.

En el caso de la Figura 21 se presentan los promedios generales del $\delta^{13}\text{C}$ y del $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata* y sus principales fuentes de alimento para la localidad Piedra de Trini. En este caso *M. crenulata* también se encuentra arriba y a la derecha de *G. robustum*, *E. arborea* y *P. torreyi*.

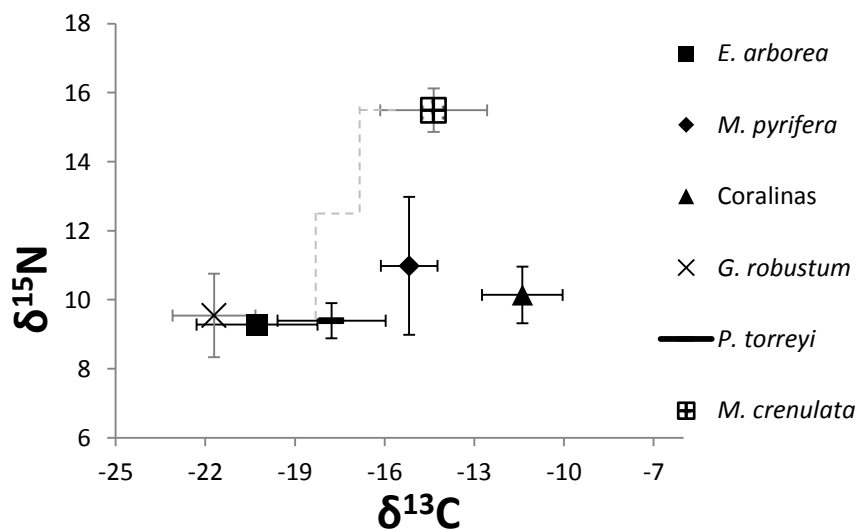


Figura 21. Valores promedio del $\delta^{13}\text{C}$ graficados contra los del $\delta^{15}\text{N}$ del sitio Piedra de Trini en Bahía Tortugas, BCS en 2009 y 2010.

Contribuciones

Los modelos de mezcla mostraron que en Bahía Tortugas, para todo el periodo de estudio, la mayor contribución a la señal isotópica de *M. crenulata* provino de *G. robustum* (25%). Por localidad, para Rincón de Méndez y en Piedra Trini se tuvo que la mayor contribución fue dada por las algas coralinas con 32% y *G. robustum* con 25%. En el caso del año 2009, la mayor contribución la dio *P. torreyi* (24 %) y en 2010 de nuevo *G. robustum* con 31 % (Tabla II).

Tabla II. Porcentajes de contribución de las fuentes de alimento a la señal isotópica de *M. crenulata*. En negritas se presenta la mayor contribución para cada caso.

	<i>E. arborea</i>	<i>M. pyrifera</i>	Coralinas	<i>G. robustum</i>	<i>P. torreyi</i>	Tunicado
Bahía Tortugas	24 %	14 %	9 %	25 %	21 %	8 %
RM	17 %	25 %	32 %	12 %	15 %	--
PT	22 %	15 %	8 %	25 %	24 %	7 %
2009	20 %	23 %	17 %	17 %	24 %	--
2010	23 %	12 %	8 %	31 %	20 %	6 %

Nivel trófico

La señal isotópica de aquellas fuentes de alimento que tuvieron una mayor contribución se utilizó como base para determinar los valores asociados al nivel trófico de *M. crenulata*. A partir de los datos de los organismos analizados en el periodo de estudio, se estimó un nivel trófico de 3.2 tomando como base la señal isotópica de *G. robustum*.

Discusión

En Bahía Tortugas, la talla de los organismos muestreados en Bahía Tortugas no presentaron diferencias significativas entre localidades y fechas. Se descarta que la variación observada en las señales isotópicas se deba a las diferencias de edad ya que entre organismos adultos y juveniles las tasas metabólicas son distintas y por tanto también hay variaciones en las señales isotópicas (Won *et al.* 2008; Fry y Arnold, 1982).

Las diferencias significativas entre las señales isotópicas de los organismos provenientes de Rincón de Méndez y los organismos de Piedra de Trini, pueden deberse a las distintas condiciones que se pudieran presentar en cada uno de éstos sitios. Rincón de Méndez se encuentra en la parte exterior y hacia el sur de la boca de la bahía, mientras que Piedra de Trini se encuentra en la parte norte. Las causas de la variabilidad isotópica pueden ser atribuidas al fraccionamiento diferencial que puede deberse a las diferentes propiedades de las masas de agua, a la distinta disponibilidad de alimento y a la distinta asimilación del alimento por cada organismo (Sackett *et al.*, 1965; Fontugne y Duplessy, 1978; Fontugne y Duplessy, 1981 Kerby y Raven, 1985;). No se presentaron diferencias significativas de un año a otro, lo cual sugiere que la alimentación y las condiciones no cambiaron sustancialmente entre los años de muestreo.

Los valores encontrados del $\delta^{13}\text{C}$ en el presente trabajo ($-15 \text{‰} \pm 0.9$) para el gasterópodo *M. crenulata* concuerdan con lo reportado para otras especies de gasterópodos tales como *Crepidula fornicata*, *Emarginula fissure*, *Gibbula magus*, *Diodora graeca*, *Nassarius reticulatus* y *Buccinum undatum*, con valores del $\delta^{13}\text{C}$ de entre -14.6 y -18.5‰ (Grall *et al.*, 2006). Por otro lado, Fredriksen (2003) reporta un rango de valores más amplio que va desde -16.16‰ hasta -30.97‰ también para gasterópodos (*Helcion pellucidum*, *Aplysia punctata*, *Calliostoma zzyphinum*, *Gibbula* sp., *Hiatella arctica* y *Lacuna vincta*) en este caso del mar de Noruega. Estas diferencias pueden deberse a que estos organismos tienen otro tipo de dieta con una señal isotópica más negativa que se transfiere también a los organismos consumidores con su respectivo enriquecimiento trófico.

Los valores del $\delta^{15}\text{N}$ de *M. crenulata* encontrados en los organismos de Bahía Tortugas son mayores ($14.8 \text{ ‰} \pm 0.9$) que los reportados por otros autores para gasterópodos. Por ejemplo, Grall *et al.* (2006) reportaron un rango de valores del $\delta^{15}\text{N}$ que fue de 10.3 ‰ hasta 13.5 ‰ en distintas especies de gasterópodos. Esta diferencia puede deberse a que la zona de muestreo del presente trabajo ha sido reportada como una zona de surgencias (Zaytsev *et al.* 2003) y es bien conocido que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en organismos que habitan en zonas de surgencia suelen ser comparativamente más altos que en otro tipo de ecosistemas (Fry, 2006).

Para el caso de las macroalgas, el alga café *E. arborea* tuvo un valor del $\delta^{13}\text{C}$ de -19.8 ‰ mientras que el valor reportado para otra especie del mismo género (*E. bycyclis*) es más positivo (-16.9 ; Won *et al.*, 2008). Esta especie muestra diferencias espaciales significativas entre los sitios de muestreo al igual que se ha reportado para otra especie de alga parda *Laminaria longicruris* que tuvo señales isotópicas desde -12 hasta -20 ‰ dependiendo del sitio de muestreo (Stephenson *et al.*, 1984). Para *M. pyrifera* se encontró un valor del $\delta^{13}\text{C}$ de -15.2 ‰ valor que queda dentro del rango reportado por Raven *et al.* (2002) que va desde -11.1 hasta -20.7 ‰ en distintas localidades de California, Estados Unidos. Esto puede explicarse ya que cada grupo de organismos podrá tener una señal isotópica que quede dentro de cierto rango de valores con la posible variación impuesta por el ambiente o la fisiología. En cuanto al grupo de las algas rojas (algas coralinas articuladas y *G. robustum*), Smith y Epstein (1970), reportaron un valor de -18.6 ‰ para la especie *Corallina chilense* mientras que en el presente trabajo se obtuvo un valor promedio más positivo (-11.54 ‰). Won *et al.* (2008), reportaron un valor del $\delta^{13}\text{C}$ de -17.0 ‰ para *Gelidium elegans* mientras que en el presente trabajo se tuvo un promedio de -22.31 ‰ (± 0.67) para *G. robustum*. Las variaciones isotópicas de macroalgas marinas pueden deberse a cambios en la composición de las fuentes de carbono disponibles; a la variación en el uso proporcional de bicarbonatos y dióxido de carbono como resultado de cambios en su abundancia relativa; a la colonización de epibiontes con diferente composición isotópica y al almacenamiento diferencial de compuestos bioquímicos (Stephenson *et al.*, 1984). Se ha reportado que los pastos marinos presentan gran variabilidad intraespecífica e

interespecífica en cuanto a los valores de $\delta^{13}\text{C}$ (-3.0‰ a -23.8 ‰ en 47 especies) Los valores reportados (-18.1 ‰) en este trabajo quedan dentro del amplio rango reportado por McMillan *et al.*, 1980)

Los tunicados se alimentan de partículas suspendidas en el agua y del plancton, lo que hace que su señal isotópica sea variable y dependa del sitio en el que se encuentren ya que estará muy relacionada a la del agua en la que habite. La señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ del tunicado *Didemnum* sp. incluido en el presente trabajo (-9.38 ‰ \pm 0.55) es distinta a la reportada para otros organismos del mismo grupo. Grall *et al.* (2006) reportaron un valor de -20.1 ‰ para *Pyura tessellata*. De Niro y Epstein (1981) reportan un rango que va desde -16.3 hasta -22.6 ‰ para distintas especies (*Aplidium lobatum*, *Halocynthia gaboja*, *Amaroucinum californicum*, *Styela montereyensis*, *Ecteinascidia turbinata*, *Boltenia rillosa*, *Cnemidocarpa fin markiensis* y *Ascidia paratropa*). Por otro lado, Fredriksen (2003) reporta un valor de -20.8 ‰ para *Botryllus schlosseri* y -20.26 ‰ para *Tunicata* sp.

El $\delta^{15}\text{N}$ del tunicado de este trabajo (8.18 ‰) se encuentra por debajo de lo reportado por Grall *et al.* (2006) para *Pyura tessellata* (10.8 ‰) pero es mayor al valor reportado para *Botryllus schlosseri* y *Tunicata* sp. (6.32 y 5.42 ‰ respectivamente) Estas diferencias pueden ser consecuencia de variaciones individuales en su alimentación, en la disponibilidad y asimilación del alimento (Fredriksen, 2003).

En los arrecifes donde se colectó *M. crenulata* las algas pardas *E. arborea* y *M. pyrifera* son elementos dominantes de la flora local, sin embargo, estas especies no formaron parte importante de la dieta de este organismo ni contribuyeron en gran medida a su señal isotópica; esto puede explicarse porque *M. crenulata* se alimenta mayormente de los raspados que hace alrededor de las rocas donde habita, de las hojas que puedan llegar a la deriva (igual que los abulones; Tutschulte y Connel, 1988). Por ello, aunque las algas son parte de la dieta de las distintas especies de gasterópodos, herbívoros u omnívoros que habitan los arrecifes rocosos, existe un reparto diferente de recursos alimentarios. Además los componentes alimentarios de *M. crenulata* varían dependiendo del sitio lo cual nos podría indicar que esta especie se alimenta de manera variable de lo que está disponible en

el medio (Aguilar-Mora, 2009), lo cual puede causar que su señal isotópica se modifique. En el presente trabajo los valores del nivel trófico variaron entre 2.9 y 3.4 dependiendo del sitio y de la fecha.

De ocho muestreos realizados por Aguilar-Mora (2009) en tres ocasiones las algas tuvieron un porcentaje de importancia similar al de los tunicados, se obtuvo que en Rincón de Méndez el grupo de las algas y el tunicado tuvieron porcentajes cercanos al 40% cada uno en julio y noviembre del 2006, al igual que en Piedra de Trini en noviembre del mismo año. Mientras que para estos dos sitios en los mismos meses pero en 2009, el análisis de isótopos mostró que el grupo de las algas contribuyó con más del 70%. Sin embargo, Aguilar-Mora (2009) reporta a los tunicados como mayor componente de la dieta de *M. crenulata*. Al trabajar con contenidos estomacales se puede presentar un sesgo relacionado con la subestimación o sobrestimación de los componentes encontrados, debido a la presencia de estructuras suaves o muy duras que afectan en distinto grado los procesos digestivos. Se concluye que probablemente los tunicados son ingeridos pero pueden no ser asimilados, por tanto su señal no se refleja en la del consumidor. Asimismo, una mayor contribución de *G. robustum* puede relacionarse con el hecho de que las algas rojas tienen un mayor porcentaje de proteínas, lo cual puede ser utilizado por los organismos que las consumen para su crecimiento (Iken *et al.*, 1999).

Incluyendo todos los sitios y fechas de muestreo, el mayor aporte a la dieta de *M. crenulata* en este trabajo fue dado por *G. robustum*, especie que fue reportada por Aguilar-Mora (2009) dentro de los contenidos estomacales en casi todos los sitios y en todos los muestreos realizados en dicho trabajo. Además *G. robustum* fue reportada entre los primeros componentes con mayor índice de importancia relativa para Rincón de Méndez en el año 2006 (Aguilar-Mora, 2009).

Los resultados de contribuciones obtenidos en este trabajo coinciden con lo reportado por Aguilar-Mora (2009) quien cataloga a la especie como un depredador especialista que tiene una alimentación variada que incluye a varias especies de algas y animales, pero presenta pocos componentes alimentarios de mayor consumo. Lo anterior se

ve reflejado en la variación del porcentaje de las contribuciones obtenido a lo largo de los sitios y años. A partir de los datos obtenidos por Aguilar-Mora (2009) se estimó un valor de nivel trófico de 2.6. El nivel trófico de los organismos se calculó multiplicando el nivel trófico de los alimentos consumidos por *M. crenulata* por el porcentaje de consumo del alimento, sumándose al final los resultados obtenidos (Adams, 1983).

Basados en los valores isotópicos la posición trófica obtenida en el presente trabajo fue de 3.2, que se encontró dentro del rango reportado para otras especies de gasterópodos (2.6 - 3.6; Grall *et al.*, 2006). En la ecología isotópica, la concentración relativa del $\delta^{15}\text{N}$ es una herramienta para estimar las posiciones tróficas de los organismos. Este nivel se calcula mediante una fórmula que incorpora la señal isotópica del consumidor secundario, el enriquecimiento del $\delta^{15}\text{N}$ por cada nivel trófico (Δ_n), la señal isotópica de la base de la alimentación y la posición trófica de dicha base la cual será 1 si se trata de productores primarios:

$$PT = \lambda + \frac{(\delta^{15}N_{\text{Depredador}} - \delta^{15}N_{\text{Base}})}{\Delta_n}$$

Este último método tiene como base la señal isotópica de las presas y del consumidor y el nivel trófico se puede presentar en rangos superiores a aquellos que se obtendrían con el cálculo a partir de los porcentajes obtenidos de análisis de contenido estomacal (3.2 vs 2.6, respectivamente). Debido a estas diferencias en el método de estimación del nivel trófico, se considera importante realizar comparaciones de niveles tróficos sobre la misma base, en este caso con valores reportados en trabajos isotópicos.

Gómez-Valdez (2010) reporta un valor de nivel trófico para *M. crenulata* en Bahía Tortugas desde 2.3 hasta 3 teniendo como promedio 2.7. Las diferencias encontradas dependen de la señal isotópica de la base, además, un omnívoro puede asimilar de manera distinta cada uno de sus alimentos. Para poder detectar estas diferencias se puede realizar

un análisis de isótopos estables de compuestos específicos, generalmente aminoácidos, ya que se asimilan de forma independiente (Post, 2007; Chikaraishi *et al.*, 2011).

Los estudios de contenido estomacal de *M. crenulata* identifican a los tunicados y a las algas rojas como elementos importantes en la dieta de los organismos, la señal isotópica señala que las macroalgas son las que están siendo asimiladas. En ambas aproximaciones, se ubica a la especie *Megathura crenulata* como un omnívoro, cuya dieta presenta variaciones de un sitio a otro y de una fecha a otra.

Conclusiones

El promedio general de la señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ para el tejido muscular de *M. crenulata* fue de -15.02 ‰ (± 0.95), mientras que el promedio general del $\delta^{15}\text{N}$ fue de 14.82 ‰ (± 0.93).

La señal isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ de *M. crenulata* se mantiene constante en al menos dos años, no así la señal del $\delta^{15}\text{N}$ que presenta diferencias entre un año y otro. Las señales isotópicas de *M. crenulata* concuerdan con lo reportado para otros gasterópodos.

La señal isotópica de *M. crenulata* refleja en mayor medida la señal isotópica de las macroalgas, no así del tunicado. *G. robustum* es quien aporta más a la señal de *M. crenulata*.

A partir de la señal isotópica del *M. crenulata* y de su principal fuente de alimento se obtuvo que el nivel trófico de este gasterópodo es de 3.25, clasificándolo como un organismo omnívoro.

Bibliografía

- Adams, S.M., B.L. Kimmel y G.R Ploskey. 1983. Sources of organic matter for reservoir fish production: A trophic-dynamics analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40, 1480-1495.
- Aguilar Castro, N. A. 2003. Ecología trófica de juveniles del Tiburón Martillo *Sphyrna lewini* (Griffith& Smith, 1834) en el Golfo de California. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. México. 117pp.
- Aguilar Mora, F. 2009. Dieta natural de *Megathura crenulata* (Sowerby, 1825) en arrecifes rocosos de la costa Pacífica de Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México, 63pp.
- Aguilar Rosas, R., G. Torres Moye y A. Almanza Heredia. 1990. Análisis cualitativo de la dieta macroalgal del caracol *Astrea undosa* (Wood 1828), en Punta Banda, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 16(4): 111-120pp.
- Boutton T. W., M. A. Arshad y L. L. Tieszen. 1983. Stable isotope analysis of termite food habits in East African grasslands. *Oecologia* 59:1-6pp.
- Cabrera Chávez-Costa, A. A. 2003. Hábitos alimenticios del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Bibron, 1839) en la costa occidental de Baja California Sur. Tesis de Maestría. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 91pp.
- Calvillo, M., S. Inoges, A. Lopez, N. Zabalegui, C. Panizo, M. Hernandez, J. Perez, F. proper, I. Melero, A. Sanchez, E. Rocha y M. Bendandi. 2004. Pasado, presente y futuro de la vacunación anti-idiotipo. *Rev. Med. Univ. Navarra*. 48(3): 14-23pp.
- Cervantes Duarte, R., S. Aguiñiga García y S. Hernández Trujillo. 1993. Condiciones de surgencia asociada a la distribución de zooplancton en San Hipólito, B.C.S. *Ciencias Marinas* 19(1): 117-135.

- Christensen, J. T., P. G. Sauriau, P. Richard y P. D. Jensen. 2001. Diet in mangrove snails: preliminary data on gut contents and stable isotope analysis. *J. Shellfish Res.*, 20: 423-426pp.
- Das K., C. Beans, L. Hosbeeck, G. Mauger, S.D. Berrow, E. Rogan y J.M. Bouquegneau. 2003. Marine mammals from northeast Atlanta: relationships between their trophic status as determined by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ measurements and their trace metal concentrations. *Mar Env.Res.* 56: 349- 365pp.
- DeNiro, M y S. Epstein. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotope in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 45: 341-351pp.
- Estrada, J. A., Rice A. N., Lutcavage M.E. y Skomal G.B. 2003. Predicting trophic position in sharks of the north-west Atlantic Ocean using stable isotope analysis. *Jor.Mar. Biol. Assoc. of United Kingdom.* 1347-1350 pp.
- Fredriksen, S. 2003. Food web studies in a Norwegian kelp forest based on stable isotope ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) analysis. *Marine ecology progress series.* 260: 71-80pp.
- Fry, B. y C. Arnold. 1982. Rapid $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ turnover during growth of Brown shrimp (*Penaeus aztecus*). *Oecologia.* 52(2):200.204pp.
- Fry, B. 2006. *Stable isotope ecology.* Springer science+bussines Media. New York NY. U.S.A. 297pp.
- Fontugne, M. y J. C. Duplessy. 1978. Organic Carbon isotopic fractionation by marine plankton in the temperature range. *Oceanology Acta.* 4, 85-90pp.
- Fontugne, M. y J. C. Duplessy. 1981. Carbon isotope ratio of marine plankton related to surface water masses. *Earth planetary science letter.* 41, 365-371pp.
- Gómez-Valdez, M. 2010. Análisis de la alimentación natural de *Megastraea undosa* (Wood, 1828) y *Megathura crenulata* (Sowerby, 1825) mediante isótopos estables

- de C y N. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 74pp.
- Grall, J., F. Loch, B. Guyonnet y P. Riera. 2006. Community structure and food web based on stable isotopes($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) analysis of a North Eastern Atlantic maerl bed. *Journal of experimental marine biology and ecology*. 338:1-15pp.
- Guest, M. A., P. D. Nichols, S. D. Frusher y A. J. Hirst. 2008. Evidence of abalone (*Haliotis rubra*) diet from combined fatty acid and stable isotope analyses. *Marine biology*. 153: 579-588pp.
- Guzmán del Prío, S. A., S.R. Mille-Pagaza, S. Campa-Guzmán, J. Carrillo-Laguna, A. Pereira-Corona, J. Belmar-Pérez, M.J. Parra-Alcacer, y A.C. Luque-Guerrero. 1991. La comunidad bentónica de bancos de abulón (*Haliotis* spp. Mollusca: Gastropoda) en Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas* 36:27–59pp.
- Harris, J.R. y J. Markl. 1999. Keyhole limpet hemocyanin (KLH): a biomedical review. *Micron* 30: 597–623.
- Hoocker, S.K., S.J. Iverson, P. Ostom y C.S. Smith. 2001. Diet of northern bottlenose whales inferred from fatty-acid and stable-isotope analyses of biopsy samples. *Can J. Zoo.* 79: 1442-1451.
- Iken, K., M. Quartino, L. y C. Wiencke. 1999. Histological identification of macroalgae from stomach contents of the antarctic fish *Nototheniacoriiceps* using semi-thin sections. *Marine Ecology* 20(1): 11–17.
- Jara-Marini, M. E., 2008. Fraccionamiento y transferencia de metales pesados desde los reservorios abióticos a la trama trófica en el sistema lagunar Estero de Urías, Mazatlán, Sinaloa. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 253pp.

- Kerby, N. W. y J. A. Raven. 1985. Transport and fixation of inorganic carbón by marine algae. *Advanced Botanical Research*.11, 77-123pp.
- Longhurst, A. R. 1981. *Analysis of marine ecosystems*. Academic Press. London. 741pp.
- Martin, G. G., C. T. Oakes, H. R. Tousignant, H. Crabtree y Yamakawa, R., 2007. Structure and function of haemocytes in two marine gastropods, *Megathura crenulata* and *Aplysia californica*. *Journal of Molluscan studies*. 73(4):355-365pp.
- Michener, R. y K. Lajtha. 2007. *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Blackwell publishing. U.S.A. 566pp.
- Maruyama A., Yamada, Y., Rusuma, B. y Yuma M. 2001. Change in stable nitrogen isotope ratio in the muscle tissue of a migratory Gob. *Rhinogobios* spp., in the nature setting. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58 : 2125-2128
- Mazariegos Villarreal, A. 2003. Componentes de la dieta natural del abulón azul (*Haliotis fulgens* Philippi), en dos localidades de la costa pacífica de Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 72pp.
- McFadden, D., D. Riggs, B. Jackson y L. Vona-Davis. 2003. Keyhole limpet hemocyanin, a novel immune stimulant with promising anticancer activity in Barrett's esophageal adenocarcinoma. *The American journal of surgery*. 186: 552-555pp.
- McMillan, P., L. Parker y B. Fry. 1980. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in seagrasses. *Aquatic botany*. 9: 237-249pp.
- Michener, R. y K. Lajtha. 2007. *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Blackwell publishing. U. S. A. 566pp.
- Minagawa, M. y E. Wada. 1984. Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between ^{15}N and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 48:1135-1140pp.

- Oakes, F., S. McTee, J. McMullen, C. Culver y D. Morse. 2004. The effect of captivity and diet on KLH isoform ratios in *Megathura crenulata*. *Comparative biochemistry and physiology*. Vol. 138.169-173pp.
- Pasquaud, S. y J. Lobry. 2007. Facing the necessity of describing estuarine ecosystems: a review of food web ecology study techniques. *Hydrobiologia*. 588: 159-172pp.
- Peterson, B. J. y B. Fry. 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 18:293–320pp.
- Phillips, D. y J. Gregg. 2003. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia*. 136:261-269pp.
- Post D. M., C. A. Layman, D. A. Arrington, G. Takimoto, J. Quattrochi, C y G. Montaña. 2007. Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia*. 152: 179-189pp.
- Raven, J., A. Johnston, J. Kübler, R. Korb, S. McInroy, L. Handley, C. Scrimgeour, D. Walker, J. Beardall, M. Vanderklift, S. Fredriksen and K. Dunton. 2002. Mechanistic interpretation of carbon isotope discrimination by marine macroalgae and seagrasses. 29(3): 355-378pp.
- Reyes-Bonilla, H., L. Calderón-Aguilera, O. Aburto-Oropeza, J. Díaz-Uribe, H. Perez-España, P. Monte-Luna, S. LLuch-Cota y L. López-Lemus. 2009. La disminución en el nivel trófico de las capturas pesqueras en México. *Ciencia*. 09: 1-9pp.
- Rivera-Camacho, A. R. 2009. Composición, diversidad y abundancia de macroalgas en bancos abuloneros con distintos niveles de producción en baja california sur. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 47pp.
- Romero-Mena, L. M., 2005. Determinación de los destinos migratorios de las ballenas jorobadas que se agregan en la zona de los cabos, BCS por medio del análisis de isótopos estables de C y N. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 83pp.

- Sackett, W. M., W. R. Eckelmann, M. L. Bender y A. W. Bé. 1965. Temperature dependence of carbon isotope composition in marine plankton and sediment samples. *Science*. 148, 235-237pp.
- Santos-Baca, L. 2008. Evaluación de los hábitos de alimentación de la tortuga verde *Cheloniemydas*, en Bahía Magdalena, B. C. S., México, utilizando la técnica de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$). Tesis de maestría. Centro de investigaciones biológicas del noroeste. México. 90pp.
- Serviere-Zaragoza E., D. Gómez-López, y G. Ponce Díaz. 1998. The natural diet of the green abalone (*Haliotis fulgens* Philippi) in the southern part of its range, Baja California Sur, Mexico, assessed by an analysis of gut contents. *Journal of Shellfish Research* 17(3): 777–782 pp.
- Smith, B. y S. Epstein. 1970. Biogeochemistry of the Stable Isotopes of Hydrogen and Carbon in Salt Marsh Biota. *Plant Physiol*. 46: 738-742pp.
- Stephenson R., F. Tan y K. Mann. 1984. Stable carbon isotope variability in marine macrophytes and its implications for food web studies. *Mar Biol* 81:223–230pp.
- Tutschulte, T.C. y J. Connel, H. 1988. Feeding behaviour and algae food of three species of abalones (*Haliotis*) in southern California. *Marine Ecology*. 49:57–64pp.
- Unkovich, M., J. Pate, A. McNeill y J. Gibbs. 2001. Stable Isotope Techniques in the study of Biological processes and functioning of ecosystems. Kluwer academic publishers. Netherlands. 281pp.
- Vander Zanden, M. J. and J. B. Rasmussen. 2001. Variation in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography*. 46(8): 2061-2066pp.
- Velasco-Tarelo, P. M. 2005. Hábitos alimenticios e isótopos de ^{13}C y ^{15}N del tiburón mako *Isurus paucus* (Rafinesque, 1810) en la costa occidental de Baja California

Sur. Tesis de Maestría. Centro interdisciplinario de ciencias marinas. México. 97pp.

Won, N., K. Tomohiko, T. Hideki y W. Yoshiro. 2008. Applicability of stable isotope analyses for ecological studies of abalone: estimation of fractionation values and natural diets. *Journal of Shellfish Research*. 2-17pp.

Zar, J. H. 1984. *Biostatistical Analysis*, second ed. Prentice Hall, Inc. Englewood cliffs, NJ. 718pp.

Zaytzev, O., R. Cervantes-Duarte, O. Montante y A. Gallegos-Garcia. 2003. Coastal Upwelling Activity on the Pacific Shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of oceanography*.59:489-502pp.

Anexos

Anexo 1. Promedios de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de macroalgas y pasto marino de los años 2009 y 2010 en Bahía Tortugas, B. C. S.

Especies	Año	Promedio $\delta^{13}\text{C}$	Promedio $\delta^{15}\text{N}$
<i>Eisenia arborea</i>	2009	-20.27 ± 2.02	9.28 ± 0.55
	2010	-19.30 ± 1.96	8.62 ± 1.66
<i>Macrocystis pyrifera</i>	2009	-15.18 ± 0.95	10.98 ± 2.89
	2010	-15.34 ± 3.87	8.59 ± 3.31
Coralinas	2009	-11.39 ± 1.35	10.14 ± 0.82
	2010	-11.70 ± 0.53	10.97 ± 1.03
<i>Gelidium robustum</i>	2009	-21.71 ± 1.39	9.54 ± 1.21
	2010	-22.92 ± 0.44	7.16 ± 4.84
<i>Phyllospadix torreyi</i>	2009	-17.78 ± 1.81	9.39 ± 0.51
	2010	-18.52 ± 1.99	6.79 ± 1.27

Anexo 2. Estimaciones del valor de nivel trófico para *M. crenulata* por localidad, año y fecha de muestreo.

	$\delta^{15}\text{N}$ <i>M. crenulata</i>	Base	$\delta^{15}\text{N}$ base	Nivel trófico
Bahía Tortugas	14.82	Gelidium	8.35	3.25
2009	15.49	Pasto	9.39	3.12
2010	14.16	Gelidium	7.16	3.43
Piedra de Trini	14.35	Gelidium	7.15	3.50
Rincón Méndez	15.35	Pasto	9.85	2.91