

# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

ACUMULACIÓN DE CARBONO EN EL ERIZO DE MAR *Echinometra vanbrunti* EN LA  
COSTA CENTRAL DE SONORA



TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
CON OPCIÓN EN ECOLOGÍA MARINA

PRESENTA:

MARCO ANTONIO PERALTA ROBLES

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

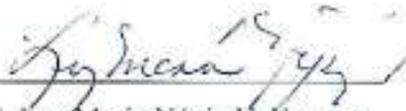
## FORMATO DE APROBACIÓN

Los miembros del Comité de Tesis designado para revisar la Tesis de Marco Antonio Peralta Robles la han encontrado satisfactorio y recomiendan que sea aceptada como requisito para obtener el Título de Licenciado en Biología con Opción en Ecología Marina.



---

Dr. José Eduardo Valdez Holguín  
Director de Tesis



---

M.C. Luz Maria Yépiz Velázquez  
Sinodal Secretario



---

Dr. Luis Fernando Enriquez Ocaña  
Sinodal



---

Biol. Norberto Miguel Angel Pasten Miranda  
Suplente

## **DEDICATORIA**

Le dedico esta tesis A MIS PADRES porque gracias a sus consejos y gran ayuda tanto económica como moral, he logrado cumplir satisfactoriamente uno de mis objetivos que me había trazado en la vida, por esta razón estaré eternamente agradecido.

A MI HERMANA Zaira; porque espero haber sido, ser y seguir siendo un ejemplo digno de ella.

A MIS ABUELITOS Alicia y Manuel, por su ejemplo de honradez y cariño.

A MIS TIOS Jesus Antonio Cruz y Angélica Robles, por su gran apoyo durante mis estudios, que sin su ayuda, no hubiera logrado mi sueño.

## AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a mis padres por brindarme el apoyo para la realización de este proyecto, también por su paciencia y cariño.

A mi comité de tesis, conformado por el Dr. José Eduardo Valdez Holguín, el Dr. Luis Fernando Enriquez Ocaña, la M. en C. Luz María Yépiz Velázquez, el Biol. Norberto Miguel Angel Pasten Miranda; que siempre estuvieron al pendiente de mis avances y encarrilándome cuando me salía del camino. Un agradecimiento especial a mi director de tesis el Dr. José Eduardo Valdez Holguín, gracias a usted crecí como persona y profesional.

Así mismo, hago patente mi agradecimiento a la Universidad de Sonora (UNISON), al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS) y a la Licenciatura en Biología por permitirme llegar hasta el final con las bases necesarias para desarrollarme como investigador, al igual que a mis amigos, compañeros y a todas aquellas personas que directa o indirectamente contribuyeron al logro de una de mis metas... obtener el título profesional.

## CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. ANTECEDENTES</b>	4
<b>III. JUSTIFICACIÓN</b>	9
<b>IV. HIPÓTESIS</b>	10
<b>V. OBJETIVOS</b>	11
V.1. Objetivo General	11
V.1.1. Objetivos particulares	11
<b>VI. METODOLOGÍA</b>	12
VI.1. Descripción del Área de Estudio	12
VI.1.1. Bahía El Colorado	12
VI.2. Trabajo de Campo	13
VI.3. Trabajo de Laboratorio	14
VI.4. Análisis de Datos	15
<b>VII. RESULTADOS</b>	18
VII.1. Distribución y abundancia de <i>E. vanbrunti</i>	18
VII.2. Cantidad de carbono en cada fracción por tamaño	20
VII.3. Total de CaCO <sub>3</sub> , C y CO <sub>2</sub> en la población	21
VII.4. Extrapolación de C en el litoral rocoso de la costa central de Sonora	22
<b>VIII. DISCUSIÓN</b>	23
<b>IX. CONCLUSIONES</b>	28
<b>X. LITERATURA CITADA</b>	29
<b>XI. APÉNDICE(S)</b>	31
XI.1. Pesos y mediciones primer muestreo	31
XI.1.1. Peso húmedo	31
XI.1.2. Peso seco	33
XI.1.3. Peso incinerado	35
XI.1.4. Mediciones	37
XI.2. Pesos y mediciones segundo muestreo	38
XI.2.1. Peso húmedo	38
XI.2.2. Peso seco	39
XI.2.3. Peso incinerado	40
XI.2.4. Mediciones	41
XI.3. Área total de los transectos	42
XI.4. Carbonato de calcio por muestreo	43

## LISTA DE TABLAS

Tabla I	Abundancia de <i>E. vanbrunti</i> en el intermareal rocoso.	18
Tabla II	Frecuencia de tallas del primer muestreo.	19
Tabla III	Total de carbonao de calcio (gr) por nivel de cada transecto (primer muestreo).	20
Tabla IV	Total de carbonato de calcio (gr) por nivel de cada transecto (segundo muestreo).	21
Tabla V	Total de CaCO <sub>3</sub> por muestreo.	21
Tabla VI	Carbonato de calcio, carbono y dióxido de carbono obtenido por muestreo.	21
Tabla VII	Listado de peso (g) húmedo de los 56 Erizos de mar <i>Echinometra vanbrunti</i> , vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el primer muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.	31
Tabla VIII	Listado de peso (g) seco de las 56 vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el primer muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.	33
Tabla IX	Listado de peso (g) incinerado de las 56 vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el primer muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.	35
Tabla X	Listado de mediciones (ancho y alto) de los 56 <i>E. vanbrunti</i> colectados al azar en la parte sur de la Bahía el Colorado.	37
Tabla XI	Listado de peso (g) húmedo de los 27 Erizos de mar <i>Echinometra vanbrunti</i> , vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el segundo muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.	38
Tabla XII	Listado de peso (g) seco de las 27 vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el segundo muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.	39
Tabla XIII	Listado de peso (g) incinerado de las 27 vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el segundo muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.	40
Tabla XIV	Listado de mediciones (ancho y alto) de los 27 <i>E. vanbrunti</i> colectados al azar en el parte sur de la Bahía el Colorado.	41

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Procesos químicos en la acidificación oceánica. (Modificado de: Ellycia Harrould-Kolieb., <i>et al</i> ).	1
Figura 2	Dioxido de carbono en sistemas acuáticos.	2
Figura 3	Esquema de <i>Echinometra vanbrnti</i> tomado de Livingston BIODIDAC	5
Figura 4	Área de estudio, Bahía el Colorado, Sonora. A) Sonora. B) Bahía el Colorado. C) Zona Sur de la Bahía.	12
Figura 5	Litoral rocoso de la zona sur en la Bahía el Colorado.	13
Figura 6	Porcentaje de carbono (92%) en la poblacion, con respecto al ancho de los organismos.	15
Figura 7	Porcentaje de carbono (91%) en la poblacion, con respecto a la altura de los organismos.	15
Figura 8	Extrapolación de la costa central de Sonora.	22
Figura 9	Modelo conceptual del flujo de carbono en el intermareal rocoso de la costa central de Sonora, basado en la acumulación de C por el erizo de mar ( <i>Echinometra vanbrunti</i> ), para condiciones de primavera.	26
Figura 10	Modelo conceptual del flujo de carbono en el intermareal rocoso de la costa central de Sonora, basado en la acumulación de C por el erizo de mar ( <i>Echinometra vanbrunti</i> ), para condiciones de otoño.	27
Figura 11	Area total de los transectos muestreados en la parte sur de la Bahía.	42

## RESUMEN

Los erizos de mar son equinodermos pertenecientes a la clase Equinoidea, tienen forma globosa, carecen de brazos y están constituidos por numerosas placas calcáreas (carbonato de calcio) unidas entre sí formando un caparazón. Estos organismos viven en zonas rocosas formando grandes parches en la zona del intermareal. Su alimento se compone de materia orgánica, fitoplancton, macroalgas, caracoles y mejillones, entre otros. En la costa central de Sonora, se presentan zonas de intermareal rocoso como la Bahía El Colorado, en el Municipio de Hermosillo. En esta bahía, en su parte norte y sur, se concentran grandes abundancias de erizo de mar, resaltando en los sedimentos aledaños a estas zonas grandes cantidades de restos de estos organismos. El propósito de este trabajo es estimar la cantidad de carbono que es acumulado por estos organismos. Se llevaron a cabo dos muestreos, uno en primavera y otro en otoño, en tres transectos perpendiculares a la línea costa, cada transecto abarcó los niveles supralitoral, mesolitoral e infralitoral, donde en cada uno de estos se muestrearon cuadrantes de 50 x 50 cm completamente al azar y al finalizar se colectaron erizos *Echinometra vanbrunti*. Estos organismos presentaron una distribución agregada en ambos muestreos, la distribución por tallas fue heterogénea en el primer muestreo y homogénea en el segundo. El 75 % del peso corporal de estos organismos correspondió al caparazón, con un 92% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), estimándose un total de 862 kg de carbono en el primer muestreo y 666 kg en el segundo. La estimación de carbono para la costa central de Sonora fue de 626 ton de carbono para la época de primavera y 484 ton para la época de otoño.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde la revolución industrial el hombre se ha convertido en un agente geofísico, afectando el ciclo biogeoquímico del carbono, por la quema de combustibles fósiles, producción de cemento, cambio de uso del suelo y deforestación, principalmente. Las actividades humanas han incrementado la presión parcial del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, este gas tiene efectos de invernadero y ha traído como consecuencia cambios en el clima terrestre.

Los océanos contienen aproximadamente cincuenta veces más  $\text{CO}_2$  que la atmósfera y como quince veces más que el contenido en suelos y biota terrestre (Álvarez-Borrego, 2007).

El dióxido de carbono tiene una alta afinidad con el agua de mar, donde se disuelve y forma el sistema del dióxido de carbono en el mar:

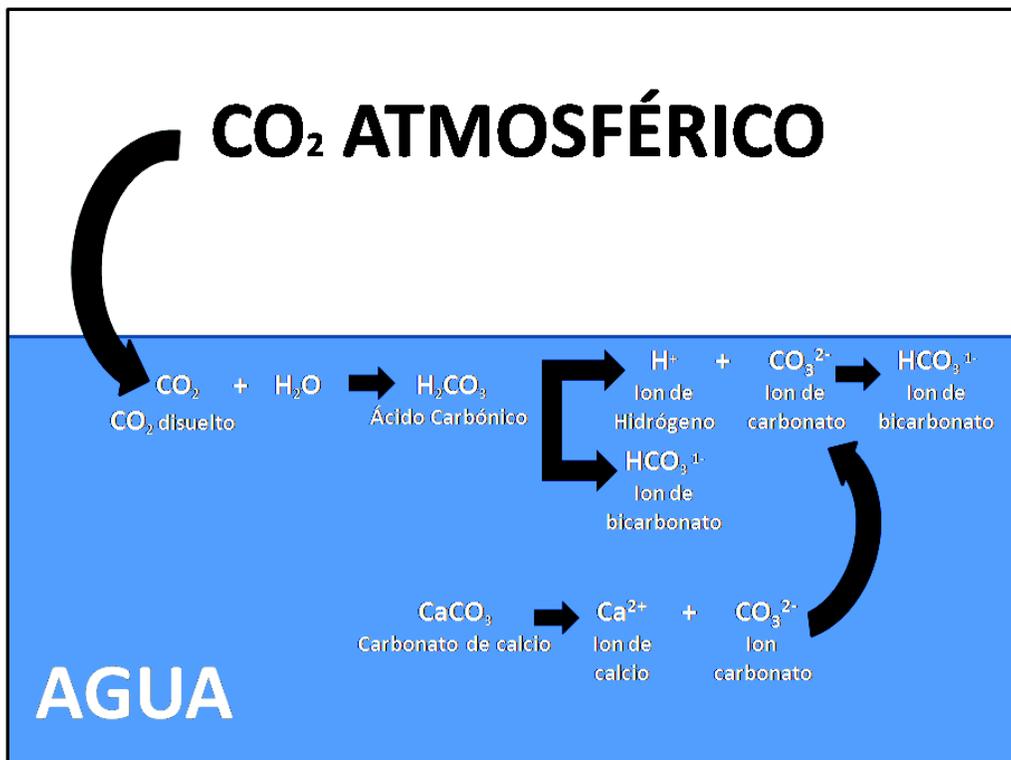


Figura 1. Procesos químicos en la acidificación oceánica. (Modificado de: Harrould-Kolieb., *et al*).

El  $\text{CO}_2$  intercambiado con la atmósfera reacciona con el agua del mar formando ácido carbónico. Este ácido libera un ión bicarbonato y un ión hidrógeno, que a su vez libera un ión carbonato y otro hidrógeno.

Cuando el  $\text{CO}_2$  se disuelve en el agua del mar, se forma el ácido carbónico, bajando el pH, este proceso se denomina “acidificación del océano”. El agua del mar se vuelve ácida y evita la precipitación de carbonatos para la formación de las conchas y esqueletos de muchos organismos marinos. Ello influye igualmente en la reproducción y fisiología de algunos de esos organismos (Urban *et al.*)



Figura 2. Dióxido de carbono en sistemas acuáticos.

El  $\text{CO}_2$  es utilizado por el fitoplancton y macroalgas y convertido en materia orgánica mediante la fotosíntesis, transfiriendo esta materia a los siguientes eslabones de la cadena alimenticia y que eventualmente se depositará en los sedimentos, se denomina la Bomba Biológica. Mediante este proceso se ha pensado que los océanos absorberán el  $\text{CO}_2$  atmosférico en exceso. En la zona costera, un gran número de organismos forman esqueletos y conchas de carbonato de calcio, almacenando parte de este  $\text{CO}_2$  que es asimilado por los productores primarios y convertido en materia orgánica. Entre estos organismos se encuentran los erizos de mar, los cuales presentan un exoesqueleto formado por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Eventualmente esta materia llegará a formar parte de los sedimentos, una vez que los organismos mueran y sean depositados en los fondos oceánicos.

El propósito de este trabajo es estimar la cantidad de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que es acumulado por estos organismos y que puede relacionarse con una fracción de  $\text{CO}_2$  secuestrado de la atmósfera por la fotosíntesis marina.

## II. ANTECEDENTES

### II.1. Taxonomía de *Echinometra vanbrunti*

**Reino:** Animalia

**Phylum:** Echinodermata

**Clase:** Echinoidea

**Familia:** Echinometridae

**Género:** *Echinometra*

**Especie:** *vanbrunti* (A. Agassiz, 1863)

Los erizos son un grupo de invertebrados marinos que forman parte de la epifauna del bentos y pertenecen a la clase Echinoidea del Phylum Echinodermata. En su mayoría juegan un papel importante en los ecosistemas marinos, ya que son uno de los principales consumidores herbívoros en los litorales y frecuentemente determinan la estructura de las comunidades a las que pertenecen (Lara-Rueda, 2004).

En el filo Equinodermos existen diversas clases de organismos como: los crinoideos (lirios de mar), los asteroideos (estrellas de mar), los ofiuroideos (ofiuras), los holoturoideos (pepinos de mar) y los equinoideos (erizos de mar). Los erizos de mar son de forma globosa o discoidal (dólares de arena), carecen de brazos y tienen un esqueleto interno, cubierto sólo por la epidermis, constituido por numerosas placas calcáreas unidas entre sí rígidamente formando un caparazón, en las que se articulan las púas móviles (Manual de Zoología, 1983).

### II.2. Familia Echinometridae

Los erizos pertenecientes a esta familia poseen un caparazón redondeado, transversalmente alargados, espinas primarias rígidas y alargadas, provista sobre la membrana bucal algunas placas finas, un par de glándulas venenosas, provistas de pedicelarios que son prolongaciones a manera de pinzas que les sirven para capturar su alimento y mantener el caparazón limpio. Son de color verdoso, pardo oscuro o bien púrpura. El diámetro máximo que alcanzan los individuos es de 7 cm, con espinas que llegan a los 3 cm de longitud (Soriano-Bailón, 2014).

### II.3. Descripción de *Echinometra vanbrunti*

*E. vanbrunti* es conocido localmente como erizo negro. Se localiza principalmente en los substratos rocosos de la zona intermareal, en superficies expuestas, grietas y cavidades (Lara-Rueda, 2004).

Se distribuye en densidades elevadas, que van de 7 a 20 individuos m<sup>-2</sup>, por lo que pueden desplazar comunidades algales, ocasionando un desequilibrio en el ecosistema marino, desempeñando un rol fundamental en las comunidades bentónicas. (Soriano-Bailón, 2014).

*E. vanbrunti* puede ocupar diversos hábitats y adaptarse a diferentes condiciones ambientales, en el intermareal rocoso con fuerte hidrodinamismo, perforan el sustrato con su aparato masticador, formando oquedades que le sirve como refugio para protegerse de depredadores y del fuerte impacto de las olas (Soriano-Bailón, 2014).

Debido a la acción coordinada de sus espinas móviles y pies ambulacrales, logran desplazarse sobre el intermareal rocoso, formando grupos (de unos pocos individuos hasta millares) para protegerse de depredadores tales como (peces, estrellas, jaibas) y para alimentarse de frondas de algas. Por lo general su mayor actividad es nocturna y durante el día cuando quedan expuestos al sol se cubren de trozos de algas para evitar la desecación (Soriano-Bailón, 2014).

Ciertos ejemplares de esta especie muestran fototropismo negativo, seleccionando áreas de poca intensidad lumínica como grietas y depresiones, además, perforan rocas y superficies duras para evitar el oleaje excesivo (Soriano-Bailón, 2014).

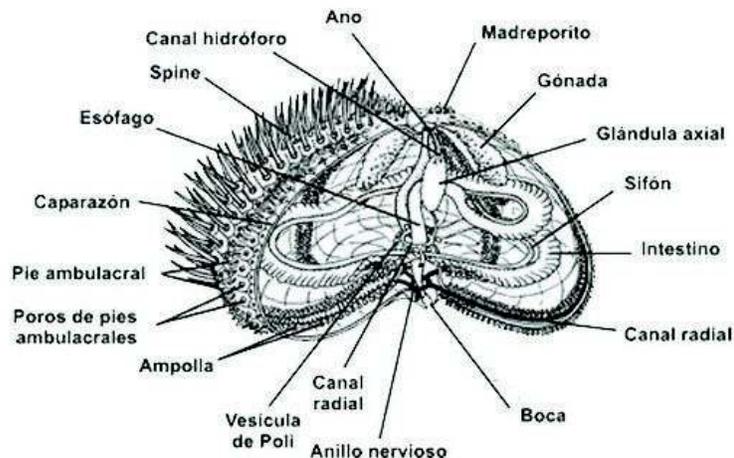


Figura 3. Esquema de *Echinometra vanbrunti* tomado de Livingston BIODIDAC.

Presentan boca y ano, los cuales están ubicados en estructuras centrales opuestas, polo oral y aboral; en la parte inferior del organismo se encuentra la boca y en la parte superior se sitúa el ano. Posee un aparato mandibular conocido como Linterna de Aristóteles conformada por 5 dientes de origen calcáreo, el mismo que puede moverse por acción de músculos (Soriano-Bailón, 2014).

#### **II.4. Distribución Geográfica**

Geográficamente se distribuyen desde la parte media de la Península de Baja California (por el litoral oriental y occidental) hasta Perú y las islas Galápagos (Lara-Rueda, 2004).

Se los puede encontrar en profundidades que van desde 0 a 80 m, generalmente en las rocas con cubiertas algales, así como también en los fondos arenosos o coralinos (Soriano-Bailón, 2014).

#### **II.5. Hábitos alimenticios**

Los equinoideos regulares (*E. vanbrunti*) pueden afectar la composición y abundancia de sus presas y organismos asociados. Estos efectos de alguna manera se relacionan con la preferencia de alimento, amplitud de la dieta y su capacidad de perturbación del medio (Calva, 2002).

Generalmente los erizos regulares son omnívoros, pero principalmente su dieta está compuesta de macro algas entre un 88% a 96%, además, ingieren foraminíferos y espongiarios. Estos organismos están dotados de un aparato masticador calcáreo que les permite roer sobre las rocas y extensiones de algas (Soriano-Bailón, 2014).

El hábito alimenticio de *E. vanbrunti* es principalmente nocturno. Intercalan ciclos de nutrición de varios días sucesivos con fases de reposo alimentario. El tiempo que dejan de alimentarse es entre 1.5 a 2 días. Los erizos negros se alimentan con frecuencia en invierno y cesa progresivamente en verano cuando la alimentación es relativamente baja. La fase de mayor consumo de alimento esta enlazado a la maduración gonádica (Soriano-Bailón, 2014).

La alimentación tiene efectos físicos directos a través de la ingestión o manipulación del sustrato y los efectos biológicos sobre los organismos consumidos. Las madrigueras intermareales formadas por los erizos de mar como *Echinometra spp.* Retienen agua y afectan la

biota local, funcionando como charcos de marea en miniatura, proporcionando protección a numerosos organismos tales como: gasterópodos (caracoles), lapas, quitones (cochinillas marinas), crustáceos (cangrejos y camarones), entre otros (Calva, 2002).

Durante la alimentación, los equinoideos remueven una gran proporción de carbonato de calcio de arrecifes coralinos y de los crecimientos de algas sobre el coral muerto. Teniendo un papel importante en el reciclaje del carbono inorgánico y orgánico en los ecosistemas arrecifales. Por lo tanto, estos especímenes son trascendentales en el ciclo del carbono oceánico y por ende en el desarrollo de los procesos ecológicos (Calva, 2002).

## II.6. Reproducción

*Echinometra vanbrunti*, es una especie que no presenta dimorfismo sexual, es una especie dioica que puede liberar aproximadamente entre 100.000 y 20 millones de óvulos al agua. Poseen 5 gónadas adheridas a la cara interna del caparazón. Las células sexuales óvulos y espermatozoides son expulsados al agua donde se lleva a cabo la fecundación. La fase de reproducción es constante durante todo el año, presentando mayor rendimiento gonádico en los meses más fríos (Soriano-Bailón, 2014).

Aunque no se conoce específicamente el desarrollo larval de *E. vanbrunti* se presume que sigue el patrón general registrado para otros erizos después de la fecundación se desarrolla una larva denominada equinopluteus (Lara-Rueda, 2004).

Se ha reportado que para los juveniles de *E. vanbrunti*, el diámetro de la testa (DT) va de 5 a 10 mm, aunque se han identificado juveniles con DT de 1 a 3 mm. En adultos el DT va de 38 a 73 mm (Lara-Rueda, 2004).

Los procesos oceanográficos son factores determinantes en la estructura espacial de *Echinometra vanbrunti* y de todos los equinoideos existentes, dichos procesos actúan en la dispersión de estadio larvario, selección del hábitat, mortalidad temprana y desplazamiento. No obstante el esparcimiento larvario puede provocarse a un nivel de 100's a 1000's de km (Soriano-Bailón, 2014).

La costa central de Sonora, tiene zonas de intermareal rocoso, como por ejemplo la zona conocida como Bahía El Colorado situado en el Municipio de Hermosillo.

En esta bahía, en su parte Norte y Sur presenta un litoral rocoso y donde se concentran grandes abundancias de erizo de mar, es notoria en los sedimentos aledaños a estas zonas rocosas la cantidad de restos de estos organismos.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN:

¿Cuánto carbono almacenan estos erizos (*Echinometra vanbrunti*) en sus estructuras?

¿Cuál es la cantidad de carbono que representan en la costa central de Sonora?

### **III.JUSTIFICACIÓN**

Desde la revolución industrial el CO<sub>2</sub> atmosférico sea incrementado, y se espera que este CO<sub>2</sub> sea absorbido por los océanos y depositado en los sedimentos. Los erizos de mar son organismos que en su composición elemental contienen un alto porcentaje de carbono, por lo que estos juegan un papel importante en el ciclo del carbono oceánico. Lo cual es importante estimar la cantidad de carbono acumulado en estas comunidades y en el litoral rocoso de Sonora, para entender el ciclo de este elemento y el papel del océano en el secuestro de CO<sub>2</sub> atmosférico.

## V. HIPÓTESIS

La composición química del Erizo de mar *Echinomentra vanbrunti* es carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en un porcentaje muy alto (90%), por lo que estos organismos impactan el ciclo de carbono en el océano al acumular una gran cantidad de carbono y pueden representar un sumidero de este elemento.

## **IV. OBJETIVOS**

### **IV.1. Objetivo General**

Estimar la cantidad de carbono almacenado en el Erizo de mar *Echinometra vanbrunti* en el ecosistema intermareal rocoso en la Bahía El Colorado, Sonora.

### **IV.2. Objetivos Particulares**

- a) Describir la distribución y abundancia de *Echinometra vanbrunti* por fracción de tamaño en poblaciones del intermareal rocoso.
- b) Cuantificar la cantidad de carbono en cada fracción de tamaño.
- c) Calcular la cantidad total de carbono en toda la población.
- d) Extrapolar el carbono en el litoral rocoso de la costa central de Sonora (Tastiota-Guaymas, Sonora)

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### VI.1. Área de Estudio

El área de estudio seleccionada para la elaboración de este trabajo fue la Bahía El Colorado, Sonora (Figura 4).

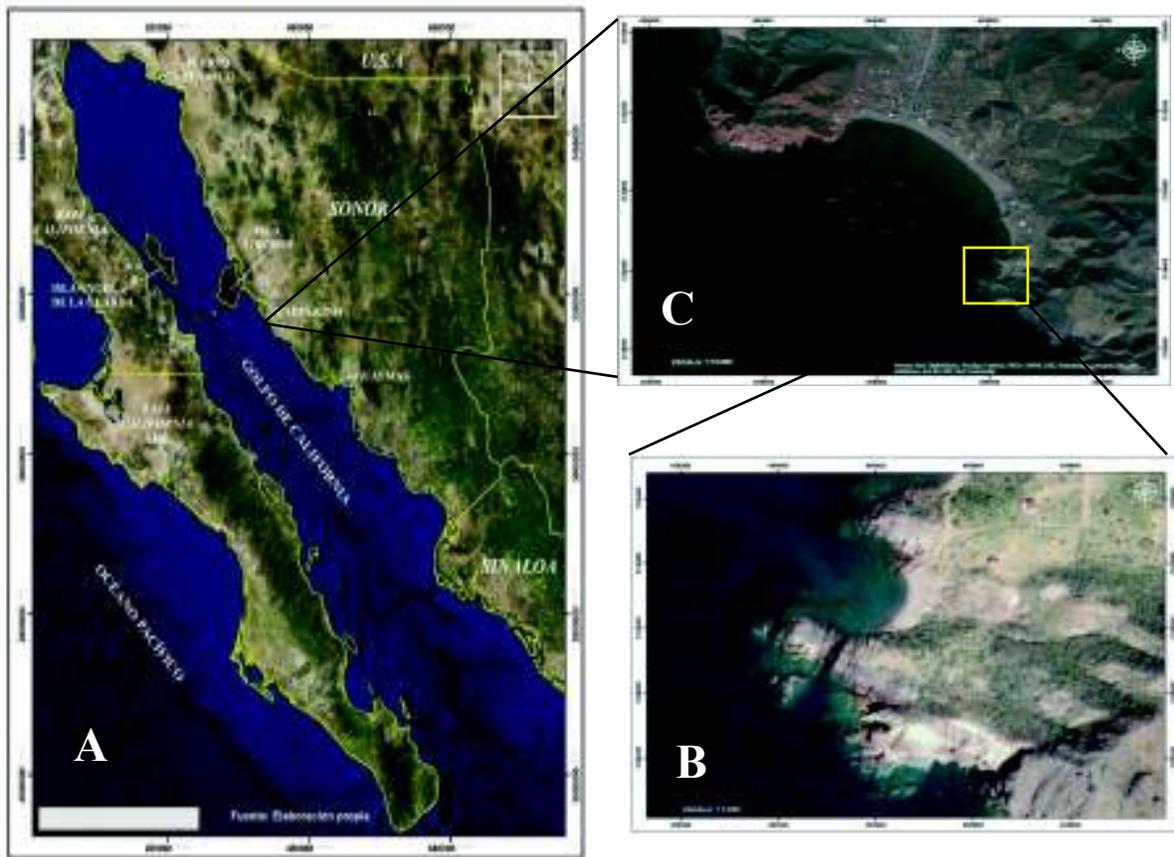


Figura 4. Área de estudio, Bahía el Colorado, Sonora. A) Sonora. B) Bahía el Colorado. C) Zona Sur de la Bahía.

#### VI.1.1. Bahía El Colorado

La Bahía El Colorado, se ubica entre los  $28^{\circ}17'3''$  de latitud al norte y los  $111^{\circ}24'57''$  de longitud oeste. Está situada aproximadamente a 120 km al suroeste de Hermosillo, Sonora. El clima predominante es seco desértico. En su parte Norte y Sur presenta un litoral rocoso, donde

en su parte sur se encuentra una gran abundancia de erizos de mar *Echinometra vanbrunti*, por lo cual se muestreo en esta zona.

## VI.2. Trabajo de Campo

Se realizaron dos muestreos en épocas climáticas distintas: primavera (01/Junio/2013) y otoño (28/Septiembre/2013).

Para obtener la distribución y abundancia de *Echinometra vanbrunti*, en cada uno de los muestreos, se trazaron tres transectos de 30 metros perpendiculares a la costa; en el intermareal rocoso en la zona sur de la Bahía. En cada transecto se muestrearon los tres niveles del intermareal (supralitoral, mesolitoral e infralitoral) y en cada uno, se colocó con un cuadrante de 50 x 50 cm. Los muestreos se realizaron al azar, se escogió aleatoriamente la altura del nivel del intermareal a muestrear (metros) y la posición derecha o izquierda del transecto.

La toma de muestras se realizó, con la ayuda de una espátula, los organismos se introdujeron en una cubeta con agua del mismo medio y se transportaron al Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora (DICTUS), en Hermosillo, Sonora.

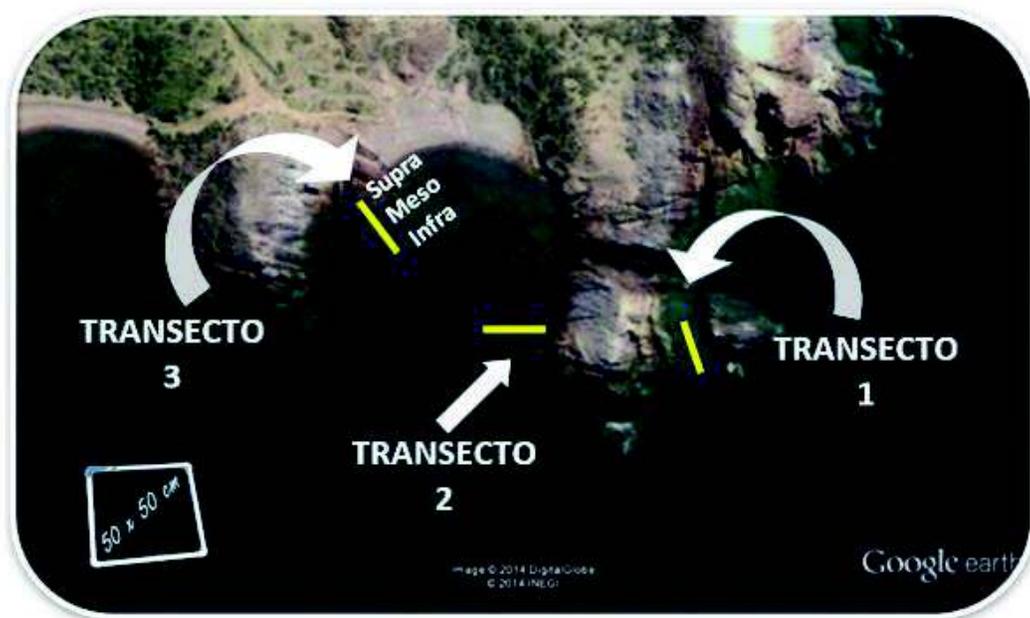


Figura 5. Litoral rocoso de la zona Sur en la Bahía el Colorado, transectos (1,2 y 3), niveles (Supralitoral, Mesolitoral e Infralitoral) y cuadrante (50\*50 cm).

### VI.3. Trabajo de Laboratorio

- 1.- Los organismos colectados, fueron medidos (ancho y alto) con la ayuda de un vernier y etiquetados.
- 2.- Se colocaron en crisoles y se pesaron en una balanza analítica, representando el peso húmedo del organismo.
- 3.- Posteriormente se les extrajo las vísceras, y las estructuras calcáreas (caparazón, espinas, linterna de Aristóteles) se colocaron en crisoles y se pesaron, y se obtuvo peso húmedo de estos.
- 4.- Para evitar contaminar las muestras, se utilizaron guantes, pinzas y espátula.
- 5.- Después, se llevaron a peso constante en una estufa a 100°C por 2 horas.
- 6.- Se incineraron en una mufla a 550°C por 4 horas, para eliminar materia orgánica y obtener el peso de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).
- 7.- Los datos obtenidos se anotaron en una bitácora y después se pasaron a limpio en Microsoft Office Excel para analizar los datos.

Con base en estas mediciones se obtuvo el peso del carbono presente en estos organismos.

#### Distribución espacial

Para estimar el patrón de distribución espacial de *E. vanbrunti* para cada muestreo, se aplicó el Índice de Morisita (1959), este método estima el tipo de distribución (agregada, uniforme y aleatoria). El método se basa en el análisis de la relación entre la varianza y la media poblacional ( $\sigma^2 - \mu$ ); bajo el supuesto de que los organismos presentan alguno de los tres patrones de distribución de acuerdo a las siguientes condiciones:

**1.- *E. vanbrunti* presenta una distribución Aleatoria si  $\sigma^2 = \mu$**

La distribución aleatoria se observa en una población de organismos cuando el ambiente y/o patrones de comportamiento no son selectivos.

**2.- *E. vanbrunti* presenta una distribución Agregada si  $\sigma^2 > \mu$**

La distribución agregada ocurre cuando el ambiente es heterogéneo o existe una interacción positiva entre los organismos (conducta de agregamiento social, reproductivo).

**3.- *E. vanbrunti* presenta una distribución Uniforme si  $\sigma^2 < \mu$**

La distribución uniforme se presenta cuando existe una integración negativa entre los organismos, como competencia por alimento y espacio.

#### VI.4. Análisis de Datos

Se analizó el contenido de  $\text{CaCO}_3$  en una submuestra con erizos *Echinometra vanbrunti* de diferentes tallas, el tamaño del organismo y su contenido de  $\text{CaCO}_3$  se relacionaron mediante un modelo de regresión exponencial. Con el modelo se estimó el contenido total de  $\text{CaCO}_3$  para cada fracción de tamaño en los muestreos en cada nivel y transecto. Posteriormente se sumó el contenido de  $\text{CaCO}_3$  en toda la fracción y se determina la concentración de  $\text{CaCO}_3$  en cada nivel = concentración de  $\text{CaCO}_3/\text{m}^2$ .

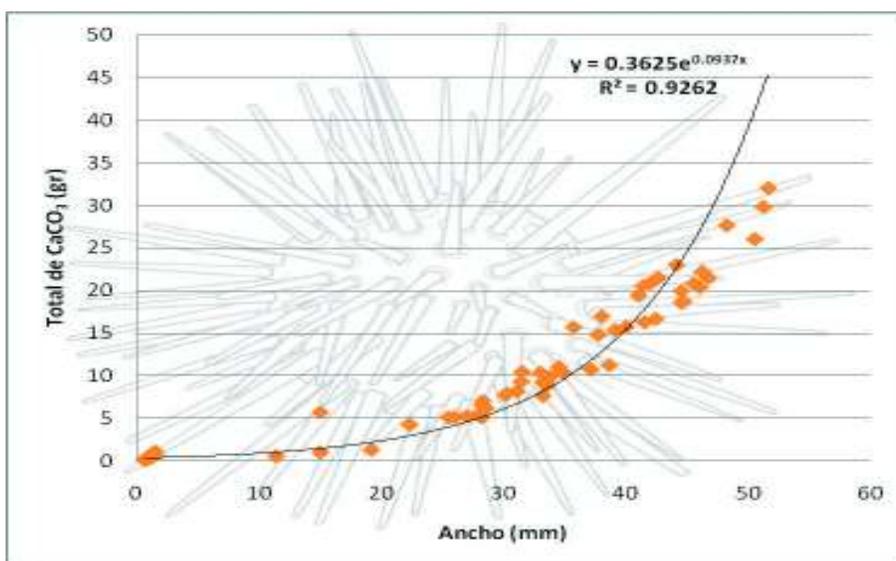


Figura 6. Porcentaje de carbono (92%) en la población, con respecto al ancho de los organismos.

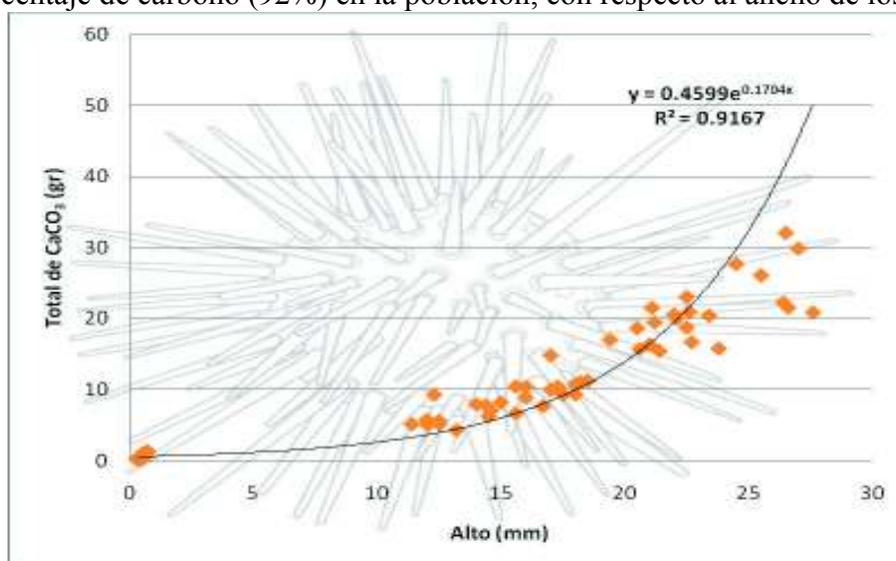


Figura 7. Porcentaje de carbono (91%) en la población, con respecto a la altura de los organismos.

El total de CaCO<sub>3</sub> para cada nivel en cada transecto se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(\text{CaCO}_3) (\text{A nivel})}{(\text{A cuadrante})}$$

Donde:

CaCO<sub>3</sub>= Carbonato de calcio total por nivel

A nivel= Área del nivel

A cuadrante = Área del cuadrante

Se realizó una sumatoria de lo obtenido en cada nivel y el resultado es el total de CaCO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup> en el transecto, sumando al final los tres transectos muestreados se obtiene el carbonato de calcio total para el primer o segundo muestreo.

Con base en este cálculo, se obtuvo el CaCO<sub>3</sub> en la Bahía de El Colorado, y se extrapolo a toda la zona rocosa de la costa central de Sonora.

El total de CaCO<sub>3</sub>, C y CO<sub>2</sub> en toneladas para la extrapolación desde Tastiota a Guaymas, Sonora, se calculo de la siguiente manera:

$$\frac{109,000 \text{ m} * \text{kg}}{150 \text{ m}}$$

Donde:

109,000 m = Distancia del litoral rocoso Tastiota a Guaymas, Sonora.

Kg = Kilogramos de CaCO<sub>3</sub>, C o CO<sub>2</sub> de cada muestreo.

150 m = Distancia de la parte sur muestreada en la Bahía.

La media poblacional y la varianza poblacional utilizadas en el índice de Morisita se calcularon con las fórmulas que el mismo autor propuso, las cuales se presentan a continuación:

$$\mu = \sum \frac{(x + f(x))}{N}$$

$$\sigma^2 = \sum \frac{((xi - \mu)^2 + f(x))}{N - 1}$$

Donde:

N: cantidad de cuadrantes o número de unidades de muestreo

x: número de *E. vanbrunti* / cuadrantes

f(x): número de cuadrantes con x número de *E. vanbrunti*.

$\mu$ : media poblacional

$\sigma^2$ : varianza poblacional

Dependiendo del resultado, se obtiene una estimación del tipo de distribución que muestran los organismos con el índice de Morisita.

## VII. RESULTADOS

### VII.1. Distribución y abundancia de *Echinometra vanbrunti*

En la tabla I se muestra la abundancia de *Echinometra vanbrunti* por nivel de cada transecto muestreado. En junio se observó un gradiente de abundancia de la parte sur a la norte del área de muestreo, con una mayor abundancia en el transecto 1 (528 org/m<sup>2</sup>), decreciendo en el transecto 2 (120 org/m<sup>2</sup>), en el transecto 3 (84 org/m<sup>2</sup>) se observó una menor abundancia de organismos (Tabla I). En general, en el mesolitoral se registró una mayor abundancia de organismos y la menor en el supralitoral. La distribución por tallas fue heterogénea, observándose que la talla 30-35 mm fue mayor, sin embargo, hubo un máximo de abundancia de organismos de talla 0-5 mm (Tabla II). En septiembre se repite la misma secuencia de abundancia de organismos con una mayor en el transecto 1 (156 org/m<sup>2</sup>) y una menor en el transecto 3 (0 org/m<sup>2</sup>), pero su distribución por tallas fue muy homogénea, observándose organismos de una talla promedio de 43 y una desviación estándar de 4.44.

Tabla I. Abundancia de *E. vanbrunti* en el intermareal rocoso.

TRANSECTOS	NIVELES	01/JUNIO/2013	28/SEPTIEMBRE/2013
1	SUPRALITORAL	136 org/m <sup>2</sup>	48 org/m <sup>2</sup>
	MESOLITORAL	180 org/m <sup>2</sup>	92 org/m <sup>2</sup>
	INFRALITORAL	212 org/m <sup>2</sup>	16 org/m <sup>2</sup>
2	SUPRALITORAL	36 org/m <sup>2</sup>	0 org/m <sup>2</sup>
	MESOLITORAL	52 org/m <sup>2</sup>	44 org/m <sup>2</sup>
	INFRALITORAL	32 org/m <sup>2</sup>	20 org/m <sup>2</sup>
3	SUPRALITORAL	0 org/m <sup>2</sup>	0 org/m <sup>2</sup>
	MESOLITORAL	36 org/m <sup>2</sup>	0 org/m <sup>2</sup>
	INFRALITORAL	48 org/m <sup>2</sup>	0 org/m <sup>2</sup>

Tabla II. Frecuencia de tallas del primer muestreo.

INTERVALOS TALLAS (mm)	FRECUENCIA DE TALLAS	%	TRANSECTOS								
			UNO			DOS			TRES		
			S	M	I	S	M	I	S	M	I
0-5	17	0.30	41	54	64	11	16	10	0	11	14
5-10	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-15	3	0.05	7	9	11	2	3	2	0	2	2
15-20	1	0.02	3	4	4	1	1	1	0	1	1
20-25	1	0.02	3	4	4	1	1	1	0	1	1
25-30	8	0.14	19	25	30	5	7	4	0	5	7
30-35	13	0.23	31	41	49	8	12	7	0	8	11
35-40	4	0.07	10	13	15	3	4	2	0	3	3
40-45	5	0.09	12	16	19	3	5	3	0	3	4
45-50	2	0.04	5	7	8	1	2	1	0	1	2
50-55	2	0.04	5	7	8	1	2	1	0	1	2

En la Bahía El Colorado, la población de *E. vanbrunti* presentó una distribución espacial de tipo agregada para los dos muestreos, con base en el índice de Morisita. Para comprobar el índice de la distribución agregada se deberá cumplir con las siguientes hipótesis:

$$H_0: \sigma^2 = \mu$$

$$H_0: \sigma^2 > \mu$$

Las formulas con las cuales trabaja el modelo de distribución agregada son:

$$P_x = \left[ 1 + \left( \frac{\mu}{K} \right) \right]^{-K}$$

$K$ : es el parámetro que mide el grado de agregación de los individuos en una población, considerándose que mientras menor sea su valor, mayor será el grado de agregación.

Para calcular  $K$  se sustituyó en estas fórmulas y una vez que se hubo calculado, se procedió a obtener  $P_x$

$$K = \frac{\mu^2}{\delta^2 - \mu}$$

Para saber si el valor de  $K$  es el adecuado,  $K$  debe de cumplir con por lo menos uno de estos supuestos:

$$1) \frac{K}{\mu} > 6$$

$$2) K > 3$$

$$3) \frac{(K+\mu)(K+2)}{\mu} \geq 15$$

Los valores de  $K$  resultaron -82.04 para el primer muestreo y -25.07 para el segundo muestreo, estos valores son pequeños, por lo que según el criterio la distribución es altamente agregada.

## VII.2. Cantidad de carbono en cada fracción por tamaño

La estimación del  $\text{CaCO}_3$  para cada fracción de tamaño se utilizó la relación  $\text{CaCO}_3$  vs ancho del organismo, ya que presentó un coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.9262$ ) mayor al presentado entre  $\text{CaCO}_3$  vs alto del organismo ( $R^2 = 0.9167$ ) (Fig 7). El modelo ( $y = 0.3625e^{0.0937(x)}$ ), representa que tanto  $\text{CaCO}_3$  se encuentra en los erizos colectados (36gr), todo esto en relación a su talla.

En la tabla III se presenta la cantidad de carbonato estimada para cada fracción de tamaño en cada nivel de cada transecto del primer muestreo. La tabla IV corresponde a la estimación del carbonato del segundo muestreo, donde la distribución por tallas fue homogénea. En las dos tablas (III y IV) se puede observar que hubo mayor  $\text{CaCO}_3/\text{m}^2$  en el transecto uno y menor en el transecto tres.

Tabla III. Total de carbonato de calcio (gr) por nivel de cada transecto (primer muestreo).

CaCO <sub>3</sub> /org	T	R	A	N	S	E	C	T	O	S
	UNO			DOS			TRES			
	S	M	I	S	M	I	S	M	I	
<b>1.26</b>	52	68	81	14	20	13	0	14	18	
<b>2</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>3</b>	21	27	33	6	9	6	0	6	6	
<b>5</b>	15	20	20	5	5	5	0	5	5	
<b>8</b>	24	32	32	8	8	8	0	8	8	
<b>13</b>	247	325	39	5	91	52	0	65	91	
<b>21</b>	651	861	1,029	168	252	147	0	168	231	
<b>34</b>	340	442	510	102	136	68	0	102	102	
<b>54</b>	648	864	1,026	162	270	162	0	162	216	
<b>86</b>	430	602	688	86	172	86	0	86	172	
<b>137</b>	685	959	1,096	137	274	137	0	137	274	
<b>TOTAL</b> grCaCO <sub>3</sub> /m <sup>2</sup>	<b>3,113</b>	<b>4,200</b>	<b>4,554</b>	<b>753</b>	<b>1,237</b>	<b>684</b>	<b>0</b>	<b>753</b>	<b>1,123</b>	

Tabla IV. Total de carbonato de calcio (gr) por nivel de cada transecto (segundo muestreo).

<b>TRANSECTOS</b>	<b>grCaCO<sub>3</sub>/org</b>	<b>grCaCO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>S</b>	<b>grCaCO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>M</b>	<b>grCaCO<sub>3</sub>/m<sup>2</sup>I</b>
<b>1</b>	56	2,688	5,152	890
<b>2</b>	56	0	2,464	1,120
<b>3</b>	56	0	0	0

En la tabla V se resume la cantidad de carbonato de calcio por transectos para ambos muestreos (los cálculos se representan en el apéndice XI.4) y en la tabla VI la cantidad de C y CO<sub>2</sub> que representan en cada uno de ellos. Se observó más CaCO<sub>3</sub> en el primer muestreo (7, 180 kg) a diferencia del segundo en el cual fue menor (5, 553 kg). Co base en el peso molecular del CaCO<sub>3</sub>, se estimó la cantidad de C y CO<sub>2</sub> que la molécula tiene, encontrándose el total de C y CO<sub>2</sub> para los distintos transectos y muestreos. El C y CO<sub>2</sub> fue de igual forma mayor en el primer muestreo (primavera) (C = 862 kg y CO<sub>2</sub> = 3, 159 kg) y menor para el segundo (otoño) (C = 666 kg y CO<sub>2</sub> = 2, 443 kg).

Tabla V. Total de CaCO<sub>3</sub> por muestreo

<b>TRANSECTOS</b>	<b>01/JUNIO/2013</b>	<b>28/SEPTIEMBRE/2013</b>
<b>1</b>	6, 325 kg	4,657 kg
<b>2</b>	187 kg	896 kg
<b>3</b>	668 kg	0 kg
<b>Total CaCO<sub>3</sub></b>	<b>7, 180 kg</b>	<b>5, 553 kg</b>

### VII.3. Total de CaCO<sub>3</sub>, C y CO<sub>2</sub> en la población

Tabla VI. Carbonato de calcio, carbono y dióxido de carbono obtenido por muestreo.

	<b>PRIMAVERA</b>	<b>OTOÑO</b>
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	7,180 kg	5, 553 kg
<b>C</b>	862 kg	666 kg
<b>CO<sub>2</sub></b>	3,159 kg	2, 443 kg

#### VII.4. Extrapolación de C en el litoral rocoso de la costa central de Sonora

Con base en el mapa de Google Earth, se calculó la distancia del litoral rocoso desde Tastiota a Guaymas, Sonora (109, 000 m) y la de la parte sur muestreada de la Bahía el Colorado (150 m). Y en base al total de  $\text{CaCO}_3$  por muestreo se obtuvo un total de 5, 217 ton de  $\text{CaCO}_3$ , 626 ton de Carbono y 2, 296 ton de  $\text{CO}_2$  para el primer muestreo (primavera) y para el segundo muestreo (otoño), 4, 035 ton de  $\text{CaCO}_3$ , 484 ton de Carbono y 1, 775 ton de  $\text{CO}_2$ . Todo esto suponiendo que la distribución de los organismos es homogénea.



Figura 8. Extrapolación de la costa central de Sonora (Tastiota-Guaymas).

## VIII. DISCUSIÓN

*Echinometra vanbrunti* presentó una distribución agregada. Este tipo de arreglo espacial ocurre cuando el ambiente es heterogéneo o existe una interacción positiva entre los organismos. Díaz (2010) menciona que los organismos pueden presentar tres tipos de distribución: agregada, uniforme y aleatoria. La distribución depende de factores como la reproducción, conducta social, factores coactivos que resultan de una interacción intraespecífica (e.g. competencia) y también factores vectoriales que resultan de la acción de fuerzas ambientales (viento, corriente e intensidad de la luz, entre otros). Díaz (2010) encontró que la distribución del erizo *Diadema mexicanum*, presentó una distribución agregada en las comunidades arrecifales de la Isla Montosa y la Entrega Bahías de Huatulco, Oaxaca, México, similar a la de este estudio. Asoció esta distribución a la reproducción, protección mutua contra los depredadores y una interacción positiva entre los organismos. En el intermareal rocoso de la Bahía El Colorado, el oleaje es intenso principalmente en invierno- primavera, debido a los vientos del noroeste (Roden, 1964), la distribución agregada que se observó durante el primer muestreo (finales de primavera) pudo haber sido influenciada por procesos oceanográficos como el oleaje. Así mismo, durante esta época del año, los procesos de surgencias fertilizan el Golfo de California promoviendo una alta producción biológica (Roden, 1964), después de la época reproductiva de estos organismos es crítico la disponibilidad de alimento para la sobrevivencia de larvas y organismos jóvenes. En el periodo del primer muestreo, se observaron tapetes de microalgas, presumiblemente filamentosas, posiblemente esta distribución altamente agregada, también puede ser relacionada a factores de alimentación. La época de mayor crecimiento gonadal para esta especie se ha reportado para septiembre (González, 2004), con organismos maduros de una talla de 34-36 mm (Lara-Rueda, 2004), durante el segundo muestreo (septiembre) la distribución de organismos por tallas fue homogénea con un promedio de talla de 43 mm. Esto hace suponer que la agregación de estos organismos fue con fines reproductivos. En esta localidad las agregaciones pueden ser debido a estos factores.

La distribución de tallas fue heterogénea para el primer muestreo, con un porcentaje importante de organismos pequeños. La época de reproducción de esta especie ha sido reportada para los meses de verano y principios de otoño (agosto a octubre) (Lara-Rueda, 2004). Dado que

el primer muestreo se realizó el 01 de junio de 2013, se encontraron todavía organismos adultos agregados con nuevos reclutas a la población, con fines de protección. En el caso del segundo muestreo, con una distribución homogénea de tallas, es posible considerar que los organismos pequeños hayan migrado, y que organismos maduros estén agregados debido a la época de mayor crecimiento gonadal y a su época reproductiva. La edad de primera madurez para estos organismos es de 2 años, con una talla entre 34 y 36 mm (Lara-Rueda, 2004). Basándose en la razón  $3/K$ , indicadora de esperanza de vida de los organismos, se podría esperar que la longevidad de *E. vanburnti* fuera de 8 años; sin embargo, de los 2262 individuos registrados en Ensenada de Muertos, solo dos presentaron edades relativas de 8 años, (González, 2004).

No existe información publicada acerca de la distribución espacial de *E. vanbrunti* en esta localidad. La abundancia de *E. vanbrunti* mostró un gradiente de la parte sur a la norte del área de muestreo, en ambos períodos, con una mayor abundancia en el transecto uno y disminuyendo hacia el transecto tres. El primer transecto está caracterizado por una área con gran cantidad de alimento, presenta un oleaje no muy fuerte y por estar más protegido por depredadores, en el segundo transecto esta área es más difícil de muestrear por su intenso oleaje, el litoral rocoso muy vertical y en el tercer transecto el área es visitada por pescadores, lo cual hace que la población disminuya, poco oleaje y menos alimento. Se observó más abundancia en el nivel mesolitoral, intermedia en infralitoral y menor en el supralitoral. En el supralitoral debido a la desecación la cual limita la distribución de estos organismos, el mesolitoral por que están en un área con fluctuaciones importantes del nivel de agua, lo que permite una mayor sobrevivencia a sus depredadores y en el infralitoral la abundancia de predadores limita su distribución. González-Peláez (2004) menciona que peces, cangrejos, langostas y otros equinodermos (asteroideos) están dentro de los principales depredadores de erizos jóvenes.

La abundancia de la población fue mayor en el primer muestreo (primavera), época en la cual el Golfo de California tiene una mayor producción biológica (Gaxiola-Castro, *et al* 1995). Durante verano (septiembre) el golfo presenta una fuerte estratificación térmica y una baja productividad biológica (Gaxiola-Castro, *et al* 1995), factores que pueden limitar la abundancia de estos organismos.

El peso corporal de *E. vanbrunti* en su mayor parte es debido a su exoesqueleto (92%), el cual está constituido por carbonato de calcio. Halfar *et al.*, (2004) mencionan que las condiciones oceanográficas (temperatura, salinidad, nutrientes y clorofila) tienen un impacto significativo en la distribución de la biota productora de carbonatos. Ellos mostraron diferentes asociaciones de la biota con las características tróficas en el Golfo de California (costa occidental), desde oligotróficas (Golfo sur) a eutróficas (Región de las Islas Grandes). En la costa central oriental (área de estudio) las condiciones son mesotróficas (Robles Tamayo, en proceso), y básicamente la biota está compuesta por erizos, ofiuras, caracoles, balanos, almejas, ostiones y quitones (Rodríguez Morales, en proceso). La acumulación de carbonato de calcio, estimada en *E. vanbrunti* para Bahía El Colorado, Tabla V. durante el presente estudio, representa una primera aproximación.

La composición morfológica de los erizos cambia en función de las fluctuaciones ambientales, adaptando sus estructuras (menos alimento, dientes más grandes, en comparación con el caparazón) para aprovechar mejor el alimento (EFE:VERDE, 2014). Durante este estudio se observaron diferencias en la cantidad de carbonato acumulado, lo cual parece estar en función de las condiciones tróficas del golfo, más eutróficas en primavera y más oligotróficas en verano.

Se hace una estimación de la cantidad de  $\text{CaCO}_3$  (Carbono) de estos resultados del área de estudio para la costa central rocosa de Sonora. El impacto que estos organismos tienen en los flujos de carbono se relaciona a las diferentes condiciones ambientales (estacionales), durante condiciones eutróficas (primavera) la acumulación de carbono es mayor en un 30%. Se supone que la distribución de organismos del área de estudio es similar en toda la costa central del estado de Sonora, 109 km aproximadamente, también que su distribución es únicamente el intermareal rocoso y se sabe que pueden llegar a distribuirse hasta 80 metros (Soriano Bailón, 2014), aunque González (2004) reporta que esta especie se distribuye a una profundidad no mayor de 3 metros. Aún con estas consideraciones la captación de  $\text{CaCO}_3$  (5, 217 ton), representa 626 ton de Carbono y 2, 296 ton de  $\text{CO}_2$  para primavera, y las 4, 035 ton de  $\text{CaCO}_3$  del segundo muestreo, representan 484 ton de Carbono y 1, 775 ton de  $\text{CO}_2$ . Estos valores pueden ser considerados como la cantidad de  $\text{CO}_2$  que es secuestrado de la atmósfera vía fotosíntesis de los productores primarios y que es transferido a los siguientes eslabones de la cadena trófica marina. Una

fracción de este carbono será disuelto en el medio cuando el organismo muera, donde la acción del oleaje rompa y fraccione los exoesqueletos. La composición de los exoesqueletos varía con las condiciones ambientales (EFE:VERDE, 2014) y en función de variables como el pH (Galván Rowland, 2014). Si la acidificación del océano se incrementa, esta disolución será más rápida, y estos organismos tendrán una limitante en el  $\text{CaCO}_3$  para su desarrollo. Otra fracción se incorporara en los sedimentos, estudios de la distribución y preservación del carbono orgánico (COT) y  $\text{CaCO}_3$  en sedimentos marinos son importantes porque están vinculados al ciclo del carbono y a la regulación del  $\text{CO}_2$  atmosférico (Sánchez *et al.*, 2013). *Porites panamensis* ocurre en la costa occidental del golfo en colonias pequeñas e incrustantes, pero muestran una producción significativa de carbonato a los sedimentos (Halfar *et al*, 2005). La cantidad de cada fracción, en biomasa viva, disuelta y en sedimentos debe ser estimada para establecer un balance del flujo de carbono y del papel de estos organismos en el ciclo del carbono. Bajo estas consideraciones se propone un modelo conceptual del flujo de carbono en relación a la distribución de *E. vanbrunti*.

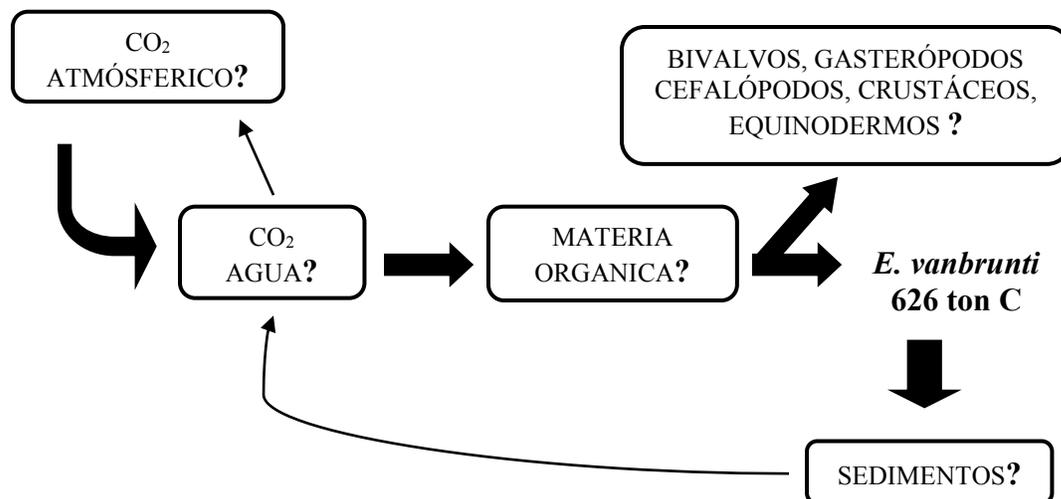


Figura 9. Modelo conceptual del flujo de carbono en el intermareal rocoso de la costa central de Sonora, basado en la acumulación de C por el erizo de mar (*Echinometra vanbrunti*), para condiciones de primavera.

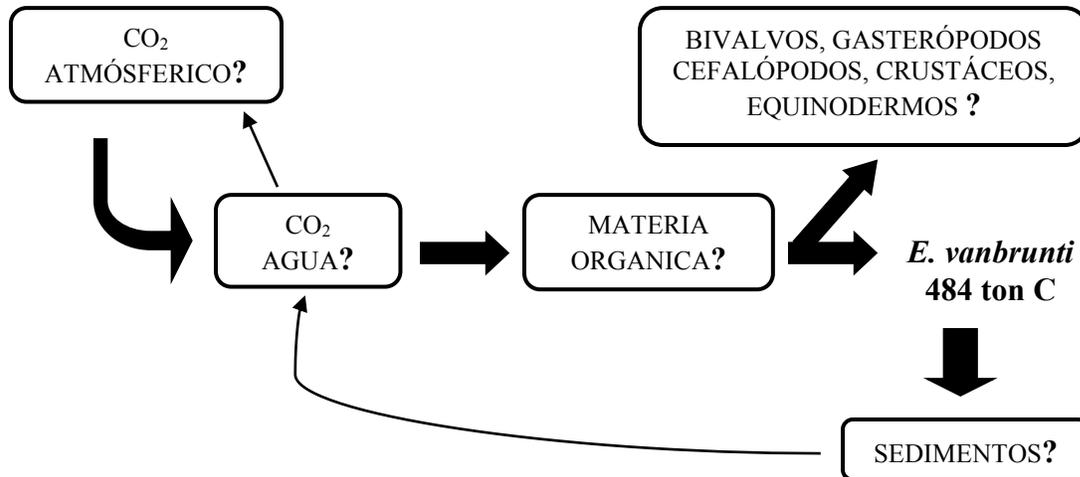


Figura 10. Modelo conceptual del flujo de carbono en el intermareal rocoso de la costa central de Sonora, basado en la acumulación de C por el erizo de mar (*Echinometra vanbrunti*), para condiciones de otoño.

## IX. CONCLUSIONES

Hubo variación temporal en la abundancia y distribución de tallas en estos organismos.

La distribución espacial de *E. vanbrutni* es agregada.

Factores como alimentación, protección y reproducción afectan la distribución de estos organismos

El peso del caparazón representa 75 % del peso del organismo, y de este caparazón el 92 % es  $\text{CaCO}_3$ .

El carbono acumulado en estos organismos en la bahía fue de 862 kg en el primer muestreo y 666 kg en el segundo muestreo.

En la zona rocosa de la costa central de Sonora (Estero Tastiota a la Bahía de Guaymas), en el intermareal rocoso se acumulan 626 toneladas de carbono en primavera y 484 toneladas en otoño de carbono, suponiendo que la distribución de los organismos es homogénea.

Se considera que los erizos de mar son altamente acumuladores de carbono, lo cual ayudan a reducir el  $\text{CO}_2$  de la atmosfera y así disminuyen la contaminación ambiental de nuestro planeta al secuestrar este elemento.

## X. LITERATURA CITADA

- Álvarez-Borrego, S. (2007). “Principios generales del ciclo del carbono en el océano”, en Hernández de la Torre, B. y G. Gaxiola, Carbono en ecosistemas acuáticos de México, SEMARNAT-INE-CICESE: [www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/531.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/531.pdf)
- Calva, L. G. B. 2002. Hábitos Alimenticios de Algunos Equinodermos. Parte 2 Erizos de mar y Pepinos de mar. ContactoS 47: 54-63.
- EFE:VERDE. Los erizos de mar adaptan sus estructuras a las fluctuaciones ambientales. <http://www.efeverde.com>. Publicado 28 Enero 2014. <http://www.efeverde.com/noticias/los-erizos-de-mar-adaptan-sus-estructuras-las-fluctuaciones-ambientales/>
- Harrould-Kolieb, E. y Savitz, J. 2009. Acidificación: ¿cómo afecta el CO<sub>2</sub> a los océanos?
- Díaz-Martínez, J. P. Maestría. 2010. Ecología poblacional del erizo de mar *Diadema mexicanum* A. Agassiz, 1863 (Echinodermata: Echinoidea) en dos comunidades arrecifales de las Bahía de Huatulco, Oaxaca. Universidad del Mar. Puerto Ángel, Oaxaca, México.
- Galván-Rowland. L. E. Maestría. 2014. Variación calcio-magnesio y densidad óptica en estructuras mandibulares de *Eucidaris thouarsii* en el Pacífico mexicano. Ensenada, B. C.
- Gaxiola-Castro, G., Garcia-Cordova, J., Valdez-Holguin, J. E., Botello-Ruvalcaba, M. 1995. Spatial distribution of chlorophyll  $\alpha$  and primary productivity in relation to winter physical structure in the Gulf of California. 15: 1043-1059
- González-Peláez. S. S. Maestría. 2004. Biología poblacional del erizo de mar *Echinometra vanbrunti* (Echinodermata: Echinoidea), en el sur del Golfo de California, México. La Paz B. C. S.
- Halfar, J., Godinez-Orta, L., Mutti, M., Valdez-Holguín, J. E., Borges, J. M. (2004). Nutrient and temperature controls on modern carbonate production: An example from the Gulf of California, Mexico. *Geology* 32:213–216
- Halfar, J., Godinez-Orta, L., Riegl, B., Valdez-Holguín, J. E., Borges, J. M. (2005). Living on the edge: high-latitude *Porites* carbonate production under temperate eutrophic conditions. *Coral Reefs*.
- Kroh, A. (2015). *Echinometra vanbrunti* A. Agassiz, 1863. In: Kroh, A. & Mooi, R. (2015) World Echinoidea Database. Accessed through: Kroh, A. & Mooi, R. (2015) World

<http://www.marinespecies.org/echinoidea/aphia.php?p=taxdetails&id=513244>

- Lara-Rueda, G. N. Licenciatura. 2004. Ciclo reproductivo del erizo de mar *Echinometra vanbrunti* (Agassiz, 1863), (Echinometra: Echinoidea) en Ensenada de muertos, Baja California Sur, México. La Paz B. C. S.
- Lozano-Cortés, D. F., Londoño-Cruz, E., A. Zapata Fernando. 2011. Bioerosión de sustrato rocoso por erizos en Bahía Málaga (Colombia), Pacífico tropical. Universidad del Valle. Vol.15, Pág. 9-22
- Manual de zoología 3. Moluscos, artrópodos, equinodermos. Anzalone. 5 ed. 2do año de bachillerato (colección de ciencias biológicas Barreiro) Montevideo: Barreiro y Ramos, 1983.
- Robles-Tamayo, C. M. Tesis en proceso. Licenciatura. Producción primaria en la Bahía el Colorado, Sonora. Universidad de Sonora
- Roden, G. I. 1964. Oceanographic aspects of Gulf of California. Mar. Geol. of the Gulf of Cal., a symp. The her. Assoc. of Petrol. Geol. Tulsa, Mem., 3: 30-58.
- Rodríguez-Morales, F. Tesis en proceso. Maestría. Diversidad funcional del intermareal rocoso en la Bahías El Colorado y El Choyudo, Sonora, Mexico. Universidad de Sonora
- Sánchez, A., González-Yajimovich, O., Balart, E., López-Ortiz, B.E., Aguiñiga-García, S., Ortiz-Hernández, M.C., 2013. Acumulación de carbono orgánico total y carbonato de calcio en la zona de oxígeno mínimo del Pacífico nororiental mexicano: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 30:222-232
- Soriano-Bailón, S. E. 2014. Evaluación de los bancos naturales del erizo negro (*Echinometra vabrunti*) en la zona intermareal rocosa del balneario de Ballenita y Comuna la Entrada, provincia de Santa Elena, durante noviembre 2013-abril del 2014. Tesis de grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de ciencias del mar.
- Urban y O. Gaffney. La acidificación del océano, resumen del segundo simposio Científico “el océano en un mundo con altos niveles de CO<sub>2</sub>” elaborado para gestores de políticas ambientales. [http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007764/1376383138984/SPM-ocean\\_acidification\\_Span.pdf](http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007764/1376383138984/SPM-ocean_acidification_Span.pdf)

## XI. APÉNDICES

### XI.1. Pesos primer muestreo

#### XI.1.1. Peso húmedo

Tabla VII. Listado de peso (g) húmedo de los 56 Erizos de mar *Echinometra vanbrunti*, vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el primer muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.

Número de erizos <i>E. vanbrunti</i>	H Erizo (g)	Ú Vísceras (g)	M	E	D	O
1	43.6245	4.3447			32.2708	
2	13.8549	0.6395			10.3569	
3	56.9069	4.0284			45.2306	
4	45.209	1.9865			34.8361	
5	28.9849	2.2833			22.8815	
6	30.9859	2.8191			23.7384	
7	40.6079	3.5588			32.6137	
8	58.6459	6.0626			46.3222	
9	19.9829	1.4231			15.1262	
10	31.0184	2.5321			24.59	
11	15.6914	0.6875			12.0073	
12	19.6559	1.0892			15.1102	
13	17.8237	0.526			14.3523	
14	38.0841	2.5576			31.4095	
15	29.142	2.8962			23.1401	
16	34.9985	1.8427			29.2356	
17	16.4085	1.0979			13.0798	
18	18.3191	0.5747			14.9419	
19	17.6652	1.0656			13.9628	
20	10.3912	0.2901			8.1566	
21	20.8679	0.7478			12.7955	
22	15.2849	0.3262			8.6952	
23	17.6541	0.525			10.5309	
24	19.169	0.656			11.6832	
25	8.7407	0.2411			5.6666	
26	8.6381	0.0217			5.6924	

27	10.2892	0.307	6.2545
28	10.2576	0.1556	7.0747
29	9.3434	0.1348	6.263
30	16.6192	0.4906	10.454
31	7.6644	0.2649	4.855
32	8.5752	0.1042	5.8549
33	13.4632	0.1842	9.0732
34	18.7592	0.8321	10.536
35	13.2199	0.436	8.611
36	12.6913	0.4173	7.5009
37	0.731	0.0147	0.5988
38	1.8605	0.0633	1.4612
39	1.6575	0.0511	1.1284
40	0.7233	0.0107	0.6921
41	1.653	0.0364	1.2038
42	1.0779	0.0271	0.7501
43	1.5345	0.0895	1.0984
44	0.2321	0.0028	0.2276
45	1.0313	0.0395	0.8403
46	1.1063	0.0355	0.7997
47	0.4178	0.0037	0.3685
48	0.4482	0.0165	0.4125
49	0.3551	0.0069	0.3289
50	0.6722	0.0114	0.5722
51	0.5492	0.0029	0.4598
52	0.7101	0.0114	0.6435
53	0.2677	0.006	0.2599
54	0.1444	0.0043	0.1353
55	0.1506	0.0032	0.1368
56	0.2228	0.005	0.2185

### XI.1.2. Peso seco

Tabla VIII. Listado de peso (g) seco de las 56 vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el primer muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.

Número de erizos <i>E. vanbruni</i>	S	E	C	O
	Vísceras (g)	Erizos sin vísceras (g)		
1	1.6926		24.3955	
2	0.1865		8.026	
3	0.9935		35.5432	
4	0.5027		25.4783	
5	0.8597		18.5357	
6	1.0982		17.5874	
7	1.4467		23.9475	
8	2.4794		34.8379	
9	0.6359		12.4458	
10	1.0973		19.2436	
11	0.2646		8.8595	
12	0.3715		11.6365	
13	0.258		11.0628	
14	0.7975		23.8187	
15	1.0417		18.1924	
16	0.8336		23.3223	
17	0.486		10.2505	
18	0.2173		12.046	
19	0.4208		11.429	
20	0.0967		5.8534	
21	0.6361		12.6551	
22	0.2973		8.6094	
23	0.4506		10.4303	
24	0.5428		11.5889	
25	0.2316		5.6307	
26	0.0182		5.6519	
27	0.2842		6.2136	
28	0.1354		7.0068	
29	0.1249		6.2259	
30	0.3967		10.3619	
31	0.2411		4.8182	
32	0.0948		5.8131	

<b>33</b>	0.1709	9.0206
<b>34</b>	0.7658	10.4416
<b>35</b>	0.4166	8.5666
<b>36</b>	0.3911	7.453
<b>37</b>	0.0097	0.5958
<b>38</b>	0.0589	1.4504
<b>39</b>	0.047	1.1168
<b>40</b>	0.0083	0.6945
<b>41</b>	0.0326	1.199
<b>42</b>	0.0239	0.7419
<b>43</b>	0.0267	1.084
<b>44</b>	0.0004	0.2246
<b>45</b>	0.0374	0.8326
<b>46</b>	0.0332	0.7918
<b>47</b>	0.003	0.363
<b>48</b>	0.0149	0.4014
<b>49</b>	0.0057	0.3231
<b>50</b>	0.0106	0.5689
<b>51</b>	0.005	0.4518
<b>52</b>	0.0096	0.631
<b>53</b>	0.0044	0.2567
<b>54</b>	0.0029	0.1322
<b>55</b>	0.0019	0.1349
<b>56</b>	0.0038	0.2212

### XI.1.2. Peso incinerado

Tabla IX. Listado de peso (g) incinerado de las 56 vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el primer muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.

Número de erizos <i>E. vanbruni</i>	I N C I N E R A D O	
	Vísceras (g)	Erizos sin vísceras (g)
1	0.5113	21.5091
2	0.0478	7.0267
3	0.4035	32.0526
4	0.1122	23.0297
5	0.2636	16.2897
6	0.4726	15.375
7	1.3001	20.3858
8	0.536	29.851
9	0.0323	11.0187
10	0.1307	16.6698
11	0.0337	7.8922
12	0.0826	10.4254
13	0.047	9.9435
14	0.1304	20.9087
15	0.1169	15.7586
16	0.0626	20.5545
17	0.1482	8.8367
18	0.0679	10.7466
19	0.0722	10.3504
20	0.0606	5.2317
21	0.1444	11.223
22	0.1234	7.6267
23	0.1064	9.2414
24	0.2433	10.384
25	0.1708	5.1191
26	0.0131	5.083
27	0.1662	5.5712
28	0.0529	6.2024
29	0.0813	5.6863
30	0.1095	9.295
31	0.1133	4.2466
32	0.0496	5.0987

<b>33</b>	0.1103	8.1647
<b>34</b>	0.3202	9.2709
<b>35</b>	0.2682	7.7237
<b>36</b>	0.2114	6.6033
<b>37</b>	0.0076	0.536
<b>38</b>	0.0497	1.2827
<b>39</b>	0.0352	0.9839
<b>40</b>	0.0041	0.6271
<b>41</b>	0.0163	1.0629
<b>42</b>	0.0189	0.6651
<b>43</b>	0.0212	0.9794
<b>44</b>	0.0001	0.201
<b>45</b>	0.0277	0.7404
<b>46</b>	0.0262	0.709
<b>47</b>	0.001	0.3236
<b>48</b>	0.0112	0.3583
<b>49</b>	0.0032	0.2882
<b>50</b>	0.0066	0.5095
<b>51</b>	0.002	0.4039
<b>52</b>	0.0046	0.5596
<b>53</b>	0.0017	0.2306
<b>54</b>	0.0017	0.116
<b>55</b>	0.0014	0.1189
<b>56</b>	0.0028	0.1981

#### XI.1.4. Mediciones

Tabla X. Listado de mediciones (ancho y alto) de los 56 *E. vanbrunti* colectados al azar en la parte sur de la Bahía el Colorado.

Número de erizos <i>E. vanbrunti</i>	MEDICIONES		Número de erizos <i>E. vanbrunti</i>	MEDICIONES	
	Alto (mm)	Ancho (mm)		Alto (mm)	Ancho (mm)
1	26.6	46.7	31	13.2	22.3
2	14.6	28.3	32	12.5	28.2
3	26.5	51.6	33	15	31.1
4	22.5	44.1	34	18	33.5
5	21	41.5	35	14.4	30.1
6	21.4	39.1	36	15.6	28.2
7	23.4	46	37	0.5	11.4
8	27	51.2	38	0.73	19.2
9	18.2	34.5	39	0.6	15
10	22.7	42.4	40	0.64	1.41
11	14	30.3	41	0.7	1.54
12	15.6	31.5	42	0.67	1.2
13	17	33.8	43	0.53	1.4
14	22.6	42	44	0.34	0.88
15	23.8	40	45	0.65	1.32
16	22	41.4	46	0.66	1.47
17	16	33.5	47	0.43	1
18	18	37.1	48	0.5	1.2
19	16	33	49	0.54	0.91
20	12.1	27	50	0.53	1.15
21	18.5	38.6	51	0.41	1
22	16.7	33.2	52	0.55	1.05
23	12.3	33.2	53	0.43	0.91
24	17.3	34.8	54	0.32	0.7
25	12	26	55	0.4	0.64
26	11.4	25.5	56	0.3	0.85
27	12.5	28			
28	14.5	28.5			
29	12	15			
30	17.5	31.4			

## XI.2. Pesos segundo muestreo

### XI.2.1. Peso húmedo

Tabla XI. Listado de peso (g) húmedo de los 27 Erizos de mar *Echinometra vanbrunti*, vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el segundo muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.

Número de erizos <i>E. vanbrunti</i>	H Erizo (g)	Ú Vísceras (g)	M	E	D	O
				Erizo sin vísceras (g)		
1	51.9567	9.3533			26.1038	
2	52.2908	4.0445			24.9893	
3	72.679	16.9753			35.2053	
4	69.8745	12.2314			33.7234	
5	35.3438	5.422			17.8294	
6	47.1877	8.2296			24.6089	
7	63.2581	14.564			31.4957	
8	47.3079	1.0646			24.4286	
9	57.9936	5.3652			34.12	
10	35.6726	1.2255			20.6725	
11	46.0187	2.2624			23.5591	
12	37.1202	1.0932			20.7738	
13	22.6206	0.3377			11.9481	
14	22.2489	0.3399			12.025	
15	33.6323	0.6353			18.9215	
16	19.5531	0.7386			10.5788	
17	50.6439	3.4219			26.0236	
18	39.6142	2.0504			20.8767	
19	27.1826	0.6382			14.1883	
20	57.7346	2.9576			31.9307	
21	59.9496	1.7965			32.4332	
22	77.108	2.6745			44.8868	
23	51.5028	1.9109			27.183	
24	5.4085	0.0307			2.7878	
25	1.7148	0.0111			0.8164	
26	0.8323	0.0021			0.3626	
27	0.6229	0.0028			0.2792	

### XI.2.2. Peso seco

Tabla XII. Listado de peso (g) seco de las 27 vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el segundo muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.

Número de erizos <i>E. vanbrunti</i>	S	E	C	O
	Vísceras (g)	Erizos sin vísceras (g)		
1	0.5663		23.2688	
2	0.24		21.718	
3	1.0583		30.2532	
4	0.7472		28.5889	
5	0.2931		16.1303	
6	0.6685		21.1355	
7	0.9712		24.3616	
8	0.3532		20.3501	
9	0.6595		22.8516	
10	0.3942		16.9204	
11	0.7443		20.2764	
12	0.4934		18.3129	
13	0.1167		11.0674	
14	0.169		10.7166	
15	0.1593		14.7221	
16	0.3343		10.0202	
17	0.8051		21.2922	
18	0.4951		17.1069	
19	0.2895		12.9008	
20	0.7113		23.6537	
21	0.6152		25.5618	
22	0.4293		30.0867	
23	1.7016		22.98	
24	0.0138		2.481	
25	0.0118		0.8142	
26	0.0031		0.363	
27	0.0036		0.2789	

### XI.2.3. Peso incinerado

Tabla XIII. Listado de peso (g) incinerado de las 27 vísceras y erizos sin vísceras, colectados al azar en el segundo muestreo en la parte sur de la Bahía el Colorado.

Número de erizos <i>E. vanbrunti</i>	I N C I N E R A D O	
	Vísceras (g)	Erizos sin vísceras (g)
1	0.264	21.5049
2	0.0891	19.9637
3	0.5912	27.6764
4	0.3586	26.0676
5	0.1285	14.7971
6	0.3349	19.4269
7	0.4263	22.2487
8	0.1796	18.6071
9	0.2973	20.8273
10	0.2009	15.6819
11	0.4278	18.7157
12	0.2645	16.9818
13	0.0508	5.651*
14	0.0861	5.3786*
15	0.0467	7.6838*
16	0.2007	5.1717*
17	0.3747	10.9947*
18	0.2235	8.8004*
19	0.1322	6.709*
20	0.3775	12.0373*
21	0.3726	13.1143*
22	0.1322	15.3883*
23	0.3755	11.7621*
24	0.0029	1.6968*
25	0.0073	0.6629*
26	0.0018	0.6346*
27	0.0022	0.2502*

#### XI.2.4. Mediciones

Tabla XIV. Listado de mediciones (ancho y alto) de los 27 *E. vanbrunti* colectados al azar en el parte sur de la Bahía el Colorado.

Número de erizos <i>E. vanbrunti</i>	M E D I C I O N E S	
	Alto (mm)	Ancho (mm)
1	21.1	42.6
2	22.1	44.5
3	24.5	48.2
4	25.5	50.5
5	17	37.7
6	21.2	41
7	26.4	46.2
8	20.5	44.5
9	27.6	45.5
10	20.6	35.7
11	22.5	44.7
12	19.4	38
13	16	32.5
14	16.4	33.5
15	17.6	39.2
16	15.4	31.7
17	23	43.4
18	19.4	40.5
19	17	33.2
20	23.2	44.2
21	21.5	47.4
22	25.4	53.8
23	23.8	45.4
24	10.6	21
25	0.64	14.5
26	0.5	11.5
27	0.45	10

### XI.3. Área total de los transectos

TRANSECTO 1 = 40 m X 40 m = 1600 m<sup>2</sup>

TRANSECTO 2 = 30 m X 10 m = 300 m<sup>2</sup>

TRANSECTO 3 = 50 m X 15 m = 750 m<sup>2</sup>

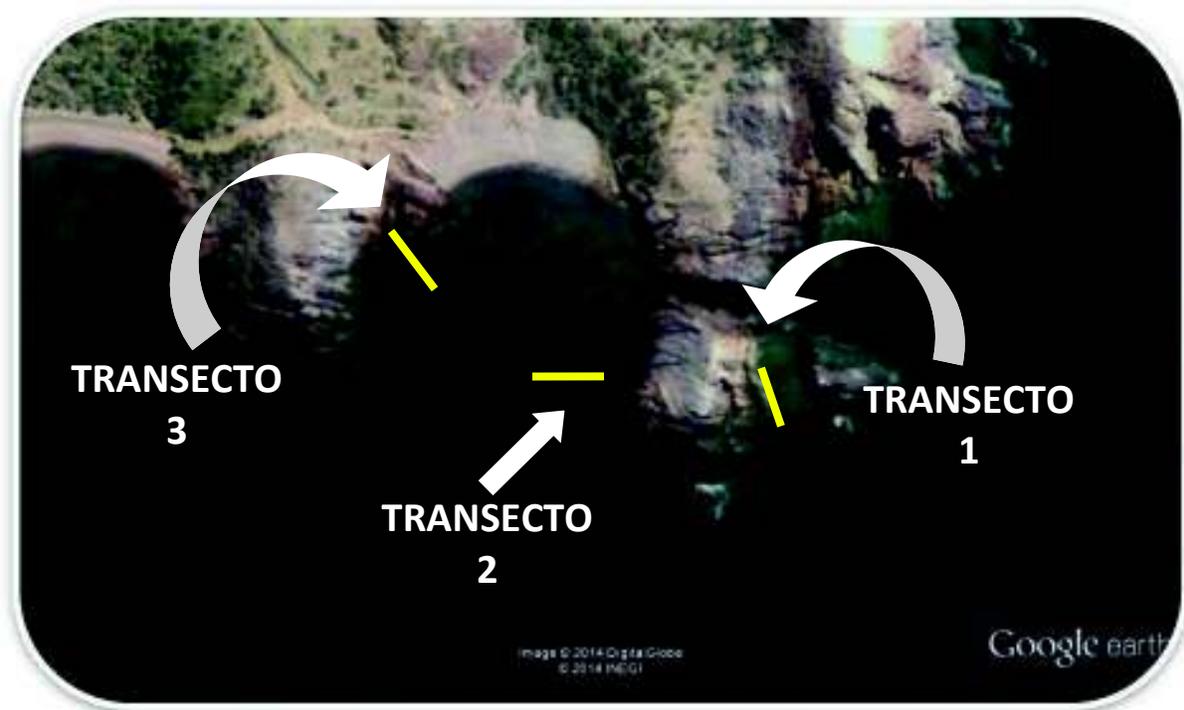


Figura 11. Área total de los transectos muestreados en la parte sur de la Bahía.

#### XI.4. Carbonato de calcio por muestreo

##### Muestreo uno

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(3,113 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (533 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 1,659,229 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 1,659 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(4,200 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (533 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 2,238,600 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 2,239 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(4,554 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (533 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 2,427,282 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 2,427 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{Transecto 1 } \Sigma = 6,325 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(753 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (250 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 188,250 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 188 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(1,237 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (250 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 309,250 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 309 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(684 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (250 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 171,000 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 171 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{Transecto 2 } \Sigma = 668 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (100 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 0 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(753 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (100 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 75,300 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 75 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(1,123 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (100 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 112,300 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 112 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{Transecto 3 } \Sigma = 187 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\Sigma = T 1 + T 2 + T 3 = \underline{7,180 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2}$$

### Muestreo dos

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(2,688 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (533 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 1,432,704 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 1,433 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(5,152 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (533 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 2,746,016 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 2,746 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(896 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (533 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 477,568 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 478 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{Transecto 1 } \Sigma = 4,657 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (250 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 0 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(2,464 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (250 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 616,000 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 616 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(1,120 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (250 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 280,000 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 280 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{Transecto 2 } \Sigma = 896 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (100 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 0 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (100 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 0 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2) (100 \text{ m}^2)}{\text{m}^2} = 0 \text{ gr CaCO}_3/\text{m}^2 = 0 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\text{Transecto 3 } \Sigma = 0 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2$$

$$\Sigma = T 1 + T 2 + T 3 = \underline{\underline{5,553 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^2}}$$