

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO1**

**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**Erizos de mar: Dinámica poblacional y reclutamiento de larvas en la isla  
San Cristóbal en el Archipiélago de Galápagos-Ecuador.**

**Rocío A. Paredes L.**

Proyecto final presentada como requisito para la obtención del título de Baccalaureus  
Scientiae (B.S.), especialización en Biología.

Quito, Ecuador  
Mayo 2010

© Derechos de Autor

Rocío A. Paredes L.  
2010

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**  
**Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Erizos de mar: Dinámica poblacional y reclutamiento de larvas dentro de  
la isla San Cristóbal en el Archipiélago de Galápagos-Ecuador.**

**Rocío A. Paredes L.**

Stella de la Torre, Ph. D.  
Decana Colegio Ciencias  
Biológicas y Ambientales

.....

Judith Denkinger, Ph.D.  
Director de la Tesis

.....

Luis Vinueza, Ph.D.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Andrea Encalada, Ph. D.  
Miembro del Comité de Tesis

.....

Quito- Ecuador  
Mayo 2010

## **DEDICATORIA.**

Para aquellos seres que pintaron de colores cada mañana de mi vida. Para esas sonrisas y llantos que me acompañaron mientras crecía.

Para aquellas manos que me alentaban cuando decidía no escuchar, para aquellos que estuvieron ahí cuando mis ojos decidieron no mirar.

Para los protagonistas de los recuerdos de mi infancia, por esas dulces miradas, para esas fuertes críticas, para las pícaras bromas y para las caricias robadas.

Porque mi vida no sería la misma sin su voz, porque todo su esfuerzo es más de lo que merezco.

Para ustedes, esto que es pequeño, es corto y quizás mal trazado... pero sin su apoyo jamás lo habría logrado

Para mi familia...

## **AGRADECIMIENTOS.**

**Necesito del mar porque me enseña, no se si es música o conciencia (...)  
Pablo Neruda.**

Mis sinceros agradecimientos están dirigidos hacia Judith Denkinger, quien me acompañó a lo largo de la planificación y ejecución de este proyecto, pues, sin ella no hubiera podido consolidar mis ideas. Quisiera además, agradecer profundamente la ayuda otorgada por Luis Vinueza, quien contribuyó con mis técnicas de investigación de campo y con las correcciones respectivas durante mi presentación oral. A John Wittman, quien me otorgó las trampas para poder continuar con el experimento de reclutamiento larval. A Juan Carlos Murillo, Director del área pesquera del Parque Nacional Galápagos de San Cristóbal, quien me apoyó con todos los permisos necesarios y permitió que formara parte de sus investigaciones. A todos los voluntarios que me acompañaron e hicieron más divertidas las salidas de campo.

Al Instituto Académico Galápagos para las Ciencias y Artes (GAIAS) por colaborar con mi estadía durante la fase de campo de mi proyecto. A todos mis profesores del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, pues, ellos fueron los encargados de inculcar mi amor hacia la investigación. Finalmente, a mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica y han creído en mí en todo momento sin dudar de mis habilidades.

## RESUMEN

A pesar del aislamiento y peculiaridad de las poblaciones que caracterizan los ecosistemas marinos de Galápagos, existen muy pocos estudios relacionados con ellos y en especial con la ecología de los principales herbívoros, los erizos. Éstos han demostrado ser muy variables frente a diversos factores ambientales, es por ello, que el presente estudio se encargó de analizar la abundancia, distribución y tamaño corporal del erizo verde (*Lytechinus semituberculatus*) y el erizo lapicero (*Eucidaris thouarsii*), dos de los erizos más comunes dentro de las zonas submareales de la isla San Cristóbal. Se realizaron 104 transectos durante las dos épocas climáticas que experimenta el archipiélago (Fría y Cálida), en cuatro sitios que difieren por sus condiciones bióticas y abióticas. Además, dentro de cada transecto se tomaron datos del diámetro de los individuos para cada especie y datos sobre cobertura de algas. Los resultados señalan un gran descenso de erizos verdes a medida que la temperatura superficial aumentaba, y por el contrario, un aumento de la densidad de erizos lapiceros. No se encontró diferencias significativas en la media de los tamaños de erizo entre las épocas climáticas pero sí entre los sitios. Por otro lado, un experimento piloto sobre reclutamiento de larvas permitió relacionar la abundancia de larvas juveniles con la abundancia de erizos adultos, pues, al igual que estos, las larvas disminuyen conforme aumenta la temperatura del mar.

## TABLA DE CONTENIDOS.

Hoja de aprobación.....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimientos.....	5
Resumen.....	6
Tabla de contenidos.....	7
Lista de tablas, figuras y anexos.....	9
Introducción.....	11
• Los erizos en Galápagos.....	12
• Reclutamiento de larvas.....	13
Objetivos.....	14
• Objetivo General.....	14
• Objetivo Específico.....	14
Hipótesis.....	14
Materiales y Métodos.....	15
• Área de Estudio.....	15
-Las islas Galápagos.....	15
-La isla San Cristóbal.....	15
-Sitios de estudio.....	16
Bahía Tijeretas.....	16
Punta Carola.....	16
Playa Mann.....	16
La Lobería.....	16
• Descripción de las técnicas de muestreo.....	17
-Muestreo de densidad.....	17
-Muestreo de diámetro.....	18
-Cobertura de algas.....	18
-Reclutamiento de larvas.....	18
• Análisis estadísticos.....	19
-Muestreo de densidad y diámetro.....	19
-Cobertura de algas.....	19
-Reclutamiento de larvas.....	20

Resultados.....	21
• Muestreo de densidad.....	21
• Muestreo de diámetro.....	21
• Cobertura de algas.....	22
• Reclutamiento de larvas.....	23
Discusión y Conclusiones .....	24
• Muestreo de densidad y diámetro.....	24
• Cobertura de algas.....	25
• Reclutamiento de larvas.....	26
• Conclusiones.....	27
Bibliografía .....	28
Anexos.....	34
• Mapas.....	34
• Tablas.....	38
• Imágenes.....	39
• Figuras.....	42

## **LISTA DE TABLAS, FIGURAS Y APÉNDICES.**

### **MAPAS**

MAPA 1. Zonificación con respecto a la temperatura superficial según Edgar 2004.

MAPA 2. Ubicación de la isla San Cristóbal con respecto al Archipiélago de Galápagos.

MAPA 3. Sitios de muestreo con respecto a Puerto Baquerizo Moreno al sur de San Cristóbal.

MAPA 4. Ubicación de Bahía Tijeretas.

MAPA 5. Ubicación de Punta Carola.

MAPA 6. Ubicación de Playa Mann.

MAPA 7. Ubicación de La Lobería.

### **TABLAS.**

TABLA 1. Número de transectos por sitio y época climática.

TABLA 2. Profundidades de muestreo.

### **IMÁGENES.**

IMÁGEN 1. Referencia de tamaño en el cuadrante para la medición de diámetros de los erizos.

IMÁGEN 2. Cuadrilla de 100 puntos para el análisis de cobertura de algas.

IMÁGEN 3. Trampa de PVC para el reclutamiento de larvas.

IMÁGEN 4. Erizo juvenil Tipo 1.

IMÁGEN 5. Erizo juvenil Tipo 2.

### **FIGURAS.**

FIGURA 1. Tendencia del valor de la media de la densidad de erizo verde (*Lytechinus semituberculatus*) en las temporadas cálida, transición y fría (N = 104 transectos).

FIGURA 2. Tendencia del valor de la media de la densidad de erizo lapicero (*Eucidaris thuarsii*) en las temporadas cálida, transición y fría (N = 104 transectos).

FIGURA 3. Valores de la moda para el erizo verde (*Lytechinus semituberculatus*) en las temporadas cálida, transición y fría (N = 2285 erizos).

FIGURA 4. Valores de la moda para el erizo lapicero (*Eucidaris thuarsii*) en las temporadas cálida, transición y fría (N = 2209 erizos).

FIGURA 5. Ocurrencia de rangos de tamaño del erizo verde y lapicero en las temporadas cálida, transición y fría (N = 4573 erizos de las dos especies).

FIGURA 6. Variación del porcentaje de cobertura de las algas con respecto al sitio y a la época climática (N = 728 cuadrantes).

FIGURA 7. Relación del porcentaje de cobertura y la densidad de erizos verdes en los cuatro sitios de muestreo y en las temporadas cálida, transición y fría (N = 104 transectos).

FIGURA 8. Relación del porcentaje de cobertura y la densidad de erizos lapiceros en los cuatro sitios de muestreo y en las temporadas cálida, transición y fría (N = 104 transectos).

FIGURA 9. Densidad de larvas equinopluteos y juveniles del Tipo 1 y 2 (N=36 trampas)

## INTRODUCCIÓN.

La diversidad de hábitats y comunidades marinas del Archipiélago de Galápagos no es un reflejo únicamente de sus características de aislamiento geológico sino también de sus condiciones oceanográficas (Bustamante et al. 2007). Las comunidades tanto de plantas como animales que conforman este ecosistema marino están expuestas a drásticos y constantes cambios, especialmente en las zonas intermareal y submareal (Bustamante 2007). Por lo tanto, la eficacia de los herbívoros puede ser restringida por factores físicos tales como la acción del oleaje, el estrés térmico, la complejidad del hábitat y la depredación (Rama 1994 en Bustamante et al. 2007). Todos estos procesos son de ámbito local pero pueden verse afectados por las condiciones oceanográficas de gran escala (Evento de El Niño), lo que genera cambios en temperatura, en los niveles de nutrientes y en el suministro de propágulos asociados con los patrones de circulación de los océanos, los cuales a su vez, puede afectar el crecimiento y la reproducción de las algas y sus interacciones con los herbívoros (Lubchenco et al. 1981 ).

Se conoce que el herbívoro con mayor influencia dentro de las comunidades marinas son los erizos, cuya estructura de la población puede estar fuertemente influenciada por su hábitat (Vadas et al 2002). Los erizos en general se alimentan principalmente de algas adheridas a las rocas o sueltas y de otros organismos sésiles (Lawrence 1975). Es por ello, que la variación en su densidad poblacional podría afectar directamente al resto de especies que se relacionan con ellos, es decir, los erizos se han convertido en especies claves dentro de las comunidades marinas, ya que, de ellos dependen animales como langostas, iguanas, peces e incluso tortugas marinas (Lawrence 1975).

Estas especies pueden llegar a alterar los ecosistemas bentónicos mediante la herbivoría o forrajeo, convirtiendo extensos espacios de algas en suelos yermos o “urchin barrens” (Sala et al., 1998). La presencia de los “urchin barrens” ha sido extensamente documentados en las franjas costeras de los ambientes templados, costas subtropicales y tropicales (McClanahan, 1994; Sammarco, 1982). Además, existen varios ejemplos de cómo las variaciones en la densidad poblacional de los erizos han alterado el equilibrio con relación a la abundancia de su alimento, como es el caso del erizo *Hemicentrotus pulcherrimus* que emigra estacionalmente a profundidades más bajas dependiendo de la

disponibilidad de algas y de coral (Agatsuma et al. 2006). O el erizo *D. antillarum* que se ha convertido en el consumidor más voraz de la cubierta vegetal en los fondos infralitorales del archipiélago canario (Tuya et al., 2007).

Una de las teorías más acertadas para explicar los efectos y las causas de esta explosión demográfica de los erizos en el control de la estructura de las comunidades, son los procesos de regulación conocidos como “top- down effects” (depredador-herbívoro-alga), así como a los procesos de inversa o “bottom-up effects” (alga-herbívoro-depredador) (Cabanillas 2009). Estos dos tipos de regulación se mantienen en los ecosistemas donde la depredación es un factor importante para mantener niveles bajos en la densidad de los herbívoros de forma que la abundancia, la biomasa, y la diversidad biológica de los niveles tróficos inferiores dependan de los efectos de los consumidores de los niveles tróficos superiores, lo que permite el desarrollo de las comunidades de algas (Shears y Babcock, 2002 en Cabanillas 2009). Sin embargo, este proceso desequilibrado puede llegar a causar bioerosión en los ecosistemas, lo que significa que el sustrato es raspado para extraer principalmente algas (filamentosas y/o calcáreas) y en algunas ocasiones, el tejido de corales. Solamente los erizos son responsables de aproximadamente el 75% de la bioerosión total de arrecifes de coral en lugares como el Caribe (Toro-Farmer et al. 2004).

### Los erizos en Galápagos

En el Archipiélago de Galápagos existen 24 especies de erizos. Los más abundantes en la zona submareal son el erizo lapicero (*Eucidaris thouarsii*) y el erizo verde (*Lytechinus semituberculatus*). Los estudios acerca de la dinámica poblacional de estas especies se reducen a los alrededores de la isla Santa Cruz (eg. Brandt 2003), sin embargo, los erizos verdes, pueden desarrollarse dentro de varios tipos de hábitat. Se los ha encontrado sobre rocas, arena y en diferentes corrientes, tanto fuertes como débiles. Además, sobreviven a temperaturas que varían desde los 11° C hasta los 35° (Lawrence 1975). El género *Lytechinus*, ha sido estudiado a lo largo de algunos años en diferentes costas del Pacífico, y Australia (Lawrence 1975, Andrew 1993) por lo que existen algunos factores que pueden determinar su normal desarrollo: *Lytechinus* consume preferiblemente algas no enriquecidas con nitrógeno y puede alimentarse de hasta 34 especies distintas (Lawrence 1975).

En Galapagos, el erizo lapicero se alimenta de algas incrustantes y corales hermatípicos del género *Pavona* (Glynn et al. 1979 en Brandt 2003) e incluso de otro tipo de material orgánico como son espinas de otras especies de erizos. El erizo lapicero es el más abundante de las islas y su población tiende a aumentar después de un incremento de temperatura en el agua debido al evento de El Niño (Glynn 1998). Esta especie tiene comportamientos agresivos, es decir, donde existe mayor abundancia se ha encontrado disminución de otras especies, como peces herbívoros, animales sésiles, erizos blancos, lo que altera las comunidades marinas notoriamente y crea zonas desprovistas de cierto tipo de algas (Brandt 2003).

Las dos especies de erizos son de suma importancia dentro de las islas, ya que, el exceso de poblaciones del erizo lapicero puede llegar a bioerosionar los pequeños arrecifes de coral cercanos a las costas (Glynn 1974). Y el erizo verde es un importante bio-indicador ya que suelen ser altamente afectados por las perturbaciones humanas (Marshall y Edgar 2003).

#### Reclutamiento de larvas

Además del efecto de depredación sobre el control poblacional de los erizos y de factores como la contaminación, las enfermedades, los eventos oceanográficos a gran escala, el suministro alimenticio, y la disponibilidad de refugios, hay otros factores que intervienen en la regulación de la estructura de los mismos, como por ejemplo, el reclutamiento larval (Cameron 1980).

Dependiendo de las condiciones ambientales, las larvas pueden estar en columnas de aguas desde semanas hasta meses antes de que estas lleguen a ser competentes (Lawrence 2007). Algunos estudios de laboratorio han demostrado que la larva pluteus del erizo puede estar en un estado de reposo hasta encontrar parches de comida, o lugares donde existan mezclas de plancton o ciertas condiciones químicas (Lawrence 2007).

## **OBJETIVOS.**

Para evaluar cómo las poblaciones de erizo cambia con respecto a los diferentes hábitats, se analizó la abundancia y el tamaño del erizo lapicero y verde dentro de cuatro sitios al sur de la Isla San Cristóbal. Estos sitios difieren en factores abióticos como: tipo de sustrato, temperatura, la acción del oleaje y corrientes y bióticos como: cobertura de algas, y presencia de depredadores. Por lo tanto se determinaron los siguientes objetivos:

### Objetivo General

Conocer el efecto de la densidad de erizos sobre la estructura de cuatro tipos de comunidades submareales en la isla San Cristóbal.

### Objetivos Específicos

1. Conocer la densidad de los erizos lapicero (*Eucidaris thouarsii*) y verde (*Lytechinus semituberculatus*) dentro de los cuatro sitios de investigación.
2. Determinar las variaciones de tamaño en el diámetro de los erizos verdes y lapiceros, dentro de las cuatro zonas.
3. Conocer la cobertura de algas en las cuatro zonas de estudio.
4. Relacionar los Objetivos Específicos 1, 2 y 3 con los cambios de temperatura superficial de acuerdo a la época estacional, para determinar la dinámica poblacional de las dos especies de erizos en los sitios de investigación.
5. Determinar si existe relación entre la abundancia larval de erizos y la densidad de erizos adultos en la zona de experimentación (Playa Mann).

## **HIPÓTESIS.**

Existe variación en la densidad poblacional de erizos lapiceros y verdes, dependiendo de los factores bióticos y abióticos que se diferencian en épocas climáticas (cálida y fría).

## MATERIALES Y MÉTODOS.

### Área de estudio

#### *Las islas Galápagos*

Las islas Galápagos se encuentran influenciadas por la presencia de tres corrientes oceánicas principales (Humbolt, Ecuador, Panamá) y son particularmente susceptible a los cambios oceanográficos asociados con el evento de El Niño (Bustamante et al. 2007). Estos cambios pueden dar lugar a fluctuaciones de temperatura y productividad (Palacios 2002). Según las dinámicas interacciones entre las corrientes frías y cálidas existen tres zonas biogeográficas: la zona occidental de clima templado-frío, el extremo norte con temperaturas más frescas y templadas y la zona sureste-central con temperatura subtropical (Edgar et al. 2004) (Mapa 1). Estas bioregiones son identificadas por su fauna y flora únicas, que han colonizado a partir de cuatro fuentes: el Indo-Pacífico, el Panámico-Caribe, y las zonas continentales y locales (Edgar et al. 2004).

#### *Isla San Cristóbal*

Este estudio fue realizado en la zona submareal de la isla San Cristóbal, ubicada al Sur-Este del Archipiélago de Galápagos (0°47'58.02"S. 89°23'55.15"O) (Mapa 2). Se extiende alrededor de 558 km<sup>2</sup> (Parque Nacional Galápagos 2009) y presenta a lo largo de su costa varias playas y bahías dominadas por comunidades de fondo rocoso.

En Julio del 2009, mediante buceo de superficie (snorkeling), se realizó un bosquejo del perfil del fondo marino para determinar la predominancia de erizos y a partir de éste, se efectuó un monitoreo mensual desde el mes de Agosto del 2009 hasta inicios de Marzo del 2010 en cuatro sitios distintos, con el fin de tener representación de zonas con diferentes condiciones oceanográficas, además, de considerar sus cercanía a Puerto Baquerizo Moreno, ciudad capital, ubicada al Sur-Oeste de la Isla (Mapa 3). De esta manera se pudo determinar las especies de erizos predominantes, el erizo verde (*Lytechinus semituberculatus*) y el erizo lapicero (*Eucidaris thouarsii*), sin embargo, en algunos sitios

fueron encontrados ocasionalmente erizos de otras especies, tales como, el erizo blanco (*Tripneustes depressus*) y el erizo aguja (*Diadema mexicanum*), pero fueron descartados del análisis.

#### *Sitios de estudio*

*Bahía Tijeretas*, es una pequeña bahía ubicada al Nor-Oeste de la isla ( $0^{\circ}53'14.05''S$ .  $89^{\circ}36'25.26''O$ ). El lugar donde se realizó el muestreo presenta una superficie rocosa y sin playa. Su profundidad puede variar de acuerdo a su pendiente que va desde 1 m en marea baja hasta los 6,5 m (Observaciones personales). Su fondo es rocoso y presenta varios parches de arena. Este sitio se ve influenciado por oleaje moderado durante la época cálida, es decir, a partir del mes de Diciembre, cuando los vientos provenientes del Norte son más frecuentes (Mapa 4).

*Punta Carola*, es una playa rocosa localizada hacia el Nor-Oeste de Puerto Baquerizo Moreno ( $0^{\circ}53'24.78''S$ .  $89^{\circ}36'44.62''O$ ), sus alrededores presentan una vegetación de bosque seco y sus aguas se ven expuestas a influencia de la zona de mezcla central del Archipiélago, además su aguas son altamente influenciadas por aguas negras provenientes del pueblo (Parque Nacional Galápagos 2009). Este sitio presenta una exposición de oleaje alta y su profundidad varía entre 0,5m a 4 m en marea baja (Observaciones personales) (Mapa 5).

*Playa Mann*, ( $0^{\circ}53'44.32''S$ .  $89^{\circ}36'32.80''O$ ) es una pequeña playa expuesta a aguas servidas, desechos líquidos y sólidos que entran desde la Bahía Naufragio, provenientes de barcos anclados o del pueblo (Parque Nacional Galápagos 2009). Su fondo es por lo general rocoso, con la presencia de pocos parches de arena. Durante la marea baja la profundidad varía de 1m a 6 m (Mapa 6)

*La Lobería*, es una playa de arena coralina localizada al sur de la Isla ( $0^{\circ}55'38.50''S$ .  $89^{\circ}36'41.77''O$ ). Por su ubicación, es el sitio que recibe mayor influencia de las corrientes productiva del este y sur. Durante la marea baja en el sitio de muestreo se generan piscinas

de aguas poco profundas que varían desde los 50 cm hasta 1,5 m y durante las mareas altas esa misma zona presenta profundidades de hasta 5 m (Mapa 7)

### **Descripción de las técnicas de muestreo**

Las muestras y los censos se realizaron en dos épocas del año: fría (Mayo-Noviembre) y cálida (Diciembre- Abril), coincidiendo con la época en la que la temperatura del agua se encuentra en sus picos máximos (23-24°C) y mínimos (17-18°C), además, se añadió una época de transición intermedia entre estas dos.

Las profundidades en las que se realizó el muestreo varió de acuerdo a las condiciones de cada sitio (Tabla 2) .

#### *Muestreos de Densidad*

Se hizo un seguimiento de la densidad de población en cada una de las zonas y durante las tres épocas (Fría, Transición, Cálida), con un total de 24 transectos en cada sitio, exceptuando en la Lobería, donde se realizaron 32 réplicas (Tabla 1).

En cada sitio, los transectos fueron de 30 m a una profundidad que varió entre 0.5cm y 6 m, dependiendo del lugar (Tabla 2). Éstos fueron distribuidos de forma paralela a la línea de la costa y al azar. Sobre cada transecto, se colocó un cuadrante de 1m x 50cm, cada 5m y se contabilizó la cantidad de erizos de cada especie dentro del cuadrante.

### *Muestreo de Diámetros*

Al igual que el muestreo de densidad, el análisis del diámetro de los erizos incluyó las tres épocas, (fría, de transición y cálida). Se analizaron un total de 2285 erizos verdes y 2209 erizos lapiceros a profundidades distintas, las cuales, dependieron de las condiciones de cada una de las cuatro zonas de muestreo (Tabla 2).

El diámetro de los erizos fue medido mediante dos técnicas: Ex-situ, en base a una foto tomada del cuadrante, con una cámara digital acuática de marca Olympus stylus tough de 12 megapíxeles; de esta forma el diámetro de los erizos fue medido en el programa Auto Cad 2010, basándose en una división del cuadrante de 10 cm x 10 cm como referencia de tamaño (Imégen 1). En-situ, con un calibre plástico (1 mm), sin alterar la ubicación de cada individuo dentro del cuadrante. Los resultados fueron anotados en una tablilla de escritura para buceo y se corroboraron con los datos obtenidos con la primera técnica.

### *Cobertura de algas.*

La vegetación de algas fue analizada al tomar una foto de un cuadrante de 30 cm x 30cm colocado cada 5 m a lo largo de los transectos. Se calculó el porcentaje de cobertura mediante la foto, a la cual, se le añadió una cuadrilla de 100 puntos con el programa Autocad 2010 (Imágen 2). Los principales grupos (incrustantes y filamentosas) de algas fueron analizadas. .

La temperatura de cada sitio fue medida diariamente con la ayuda de 4 Data logger (Hobo) ubicados a 2 m de profundidad en cada sitio, éstos monitorearon los cambios de temperatura cada 5 minutos.

### *Reclutamiento de larvas.*

El reclutamiento de larvas, se realizó de forma experimental en Playa Mann. Para esto, se colocaron cuatro trampas, hechas con tubos de PVC de 20cm de diámetro y 30cm de

largo con césped artificial en el interior para poder capturar el sustrato. Los extremos fueron sellados con mallas metálicas para evitar que especies más grandes se introduzcan (ver Balch et al 2000) (Imágen 3). Las trampas fueron colocadas al azar y atadas a rocas; con una altura variable de 1m a 2m por encima del fondo. Se escogieron zonas rocosas, con abundancia de erizos adultos y sin mucha. Las trampas fueron recogidas y analizadas cada dos semanas. Una vez en el laboratorio, el césped artificial se lavó y filtró a través de una red de plancton de 150  $\mu\text{m}$ . El filtrado se fijó en 50% agua dulce y 50% etanol. Las larvas de erizo fueron contabilizadas bajo el microscopio de disección e identificadas (ver Balch et al. 2000).

### *Análisis estadísticos*

Para el análisis de los datos se emplearon primeramente estudios descriptivos de las variables, y análisis de diferencias entre medias (pruebas paramétricas ANOVA) y correlaciones bivariadas con ayuda del programa Mini tap.

#### *Muestreo de densidad y diámetro.*

Se analizó la densidad únicamente del erizo verde y el lapicero, ya que, son los más abundantes dentro de cada sitio. La media de la densidad y la media del diámetro de cada especie fueron analizados por separado mediante el test de ANOVA para comparar los 4 sitios de estudio) (ver Agatsuma 2006).

#### *Cobertura de algas.*

Se midió el porcentaje de cobertura de los principales grupos de algas (filamentosas, incrustantes), mediante la grilla regular de 100 puntos (un total de 700 puntos por transecto). La estimación de cobertura de algas por cada 100 puntos permite la correlación de la densidad de población de erizos y de algas por unidad de cobertura o "zona de

pastoreo". Esto permite relacionar la densidad poblacional con la cobertura de algas (ver Brandt 2003).

Para medir el efecto de la densidad del erizo verde y del lapicero sobre la diversidad de las algas se utilizaron índices de diversidad incluyendo a todas las especies identificadas (índice Margalef, ver Brandt 2003).

#### *Reclutamiento de larvas.*

Para este análisis, cada trampa fue considerada como una réplica y se consideraron factores abióticos como: altura y ubicación de las trampas. Por lo tanto, se contabilizó la presencia tanto de individuos en forma larval como juveniles. Se identificaron dos tipos de juveniles (Imágen 4 y 5) y se clasificaron en tipo I y tipo II (Imágen 4 y 5). Los datos fueron reducidos a un porcentaje de presencia en cada mes y analizados mediante ANOVA de una vía.

## RESULTADOS.

### *Muestreo de Densidad*

La densidad del erizo varia significativamente (ANOVA:  $p < 0,01$ , para todas las épocas y especies) De acuerdo a los resultados obtenidos el erizo verde, tiene una densidad máxima de  $4,49 \text{ ind/m}^2$  en Tijeretas, durante la época de transición, con temperaturas entre los  $18^\circ\text{C}$  y  $20^\circ\text{C}$ . La densidad máxima del erizo lapicero fue de  $1,53 \text{ ind/m}^2$  en Carola, en la época cálida, cuando la temperatura superficial variaba entre  $22^\circ\text{C}$  y  $24^\circ\text{C}$ .

Las densidades mínimas para el erizo verde fueron de  $0,0425 \text{ ind/m}^2$  en Carola durante la época fría. Para el erizo lapicero la densidad promedio más baja fue de  $0,3555 \text{ ind/m}^2$ -en Tijeretas durante la época de transición.

En términos generales, la densidad del erizo verde tuvo un pico máximo durante la época de transición en todas las localidades, excepto en La Lobería, y descendió al comienzo de la época cálida, en los meses de Enero a Marzo del 2010. Por el contrario, el erizo lapicero, mostró en todas las localidades una densidad mínima durante la época de transición y aumentó conforme la temperatura de agua superficial aumentaba (Enero-Marzo) (Figura 1 y 2).

Mediante la prueba ANOVA de un factor se pudo constatar, que no existe diferencias significativas entre la densidad poblacional de ambas especies de erizos y la profundidad, sin embargo, existe una tendencia a encontrar más erizos verdes pasando los 4m de profundidad en Carola.

### *Muestreo de diámetro*

Para determinar la moda del diámetro de cada especie de erizos, se analizó un total 2285 erizos verdes y 2209 erizos lapiceros en los cuatro puntos de muestreo y en las temporadas fría, transición y cálida.

Mediante el test de ANOVA de un factor se pudo destacar que no existe una diferencia relevante de la moda de diámetro entre las épocas ( $P > 0,5$ ), sin embargo, sí existe entre localidades ( $P < 0,01$ ). La moda del erizo verde en Playa Mann y La Lobería fueron de 6 cm de diámetro máximo durante la época fría (Figura 3). La moda máxima del erizo lapicero fue de 6,7cm en Carola durante la época cálida (Figura 4). Por otro lado, la moda mínima para el erizo verde se presentó en Tijeretas durante la época cálida con 3,4 cm (Figura 3). Y para el erizo lapicero, la moda mínima del diámetro se encontró en Playa Man y La Lobería durante la época fría (4,5 cm) (Figura 4).

Se analizó además los rangos de tallas del diámetro, obteniendo un total de 3 categorías para cada especie (Figura 5). Se observaron individuos de las diferentes clases de talla en todas las localidades y durante todas las épocas, pero la categoría más abundante de acuerdo al diámetro fue de entre 4-5 cm para el erizo verde y entre 5-7 cm para el erizo lapicero, exceptuando en Carola, ya que el rango preferido en la época caliente para el erizo lapicero fue entre 2-4 cm. Y por otro lado, los erizos verdes en Tijeretas mantuvieron un rango entre 1-3 cm durante la época fría y de transición (Figura 5).

### *Cobertura de algas*

Se obtuvo la cobertura porcentual de algas, y una relación de la presencia-ausencia de las especies halladas para los 4 puntos de muestreo. Los grupos de algas más abundantes encontradas fueron: ulváceas, algas rojas, algas incrustantes cafés, padinas y dictyotas (Figura 6).

Existe una correlación positiva entre el porcentaje de ulváceas y la densidad de erizos verdes y entre el porcentaje de algas incrustante cafés y el erizo lapicero. Esta relación es mucho más notoria entre las localidades (Figura 7 y 8). Hay un patrón de variación, cuando aumenta la abundancia de algas incrustantes cafés, aumenta la densidad de erizos lapiceros y por el contrario desciende la densidad de los erizos verdes.

Conforme la temperatura superficial aumenta existe una reducción del 41,7% de algas ulváceas en todos los sitios, las cuales, fueron reemplazadas por suelos yermos como en el caso de Tijeretas o algas incrustantes cafés como en Carola durante la época cálida.

Además de acuerdo al índice de Margalef, los sitios que presentaron más riqueza con respecto a las algas, durante todo el periodo de investigación (Agostos-Marzo) fueron Tijeretas ( $R1= 1,045858076$ ) y La Lobería ( $R1= 0,943777$ ) y por el contrario el sitio con menor riqueza fue Playa Mann ( $R1 = 0,840980165$ ). Sin embargo, todos los valores fueron inferiores a 2,0 lo que se relaciona con zonas de baja biodiversidad

### *Reclutamiento de larvas*

Para el análisis de la abundancia de erizos, se considero cada trampa como una réplica, con un total de 36 muestras. Se identificaron 6 larvas pluteus y 1740 individuos en estado juvenil, de los cuales, 1531 pertenecieron al primer tipo de larvas y 209 al segundo tipo (Figura 9). Al igual que para el análisis de la densidad de erizos adultos, se utilizó la prueba ANOVA de una vía para determinar la variación de la abundancia de larvas conforme cambian las épocas climáticas. De esta manera, se pudo identificar que los meses de Agosto y Septiembre son los meses con mayor abundancia (ANOVA  $P<0,01$ ) y a partir de estos se genera un notable descenso que se correlaciona de forma negativa conforme la temperatura superficial aumenta (Figura 9).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

En general, los resultados obtenidos en este proyecto dirigen a mostrar una influencia del depredador (erizos) en la abundancia y diversidad de algas, los mismo que varían y fluctúan a lo largo del tiempo y el espacio, conforme cambia la época climática (Paine 1966 ). Los resultados obtenidos, muestran además que la estructura física del hábitat puede tener una notable influencia sobre la dinámica de los erizos en general.

### *Muestreo de densidad y diámetro*

Bustamante (2007) sugiere en sus estudios que las dos estaciones o épocas climáticas que experimenta el archipiélago (Fría y Cálida) se reflejan en la mayoría de variables ambientales, y entre ellas en el aumento de la temperatura superficial. En el presente estudio, la densidad poblacional de erizos verdes disminuye en todas las localidades a excepción de La Lobería . En Carola aumenta la densidad de erizos lapicero a medida que aumenta la temperatura superficial. Además, la talla más pequeña de erizos verdes se encuentra con mayor frecuencia conforme aumentan los suelos yermos, es decir, que la talla del erizo es inversamente proporcional a la disminución del porcentaje de coberturas de algas. Estudios parecidos con el erizo *D. antillarum*, igualmente muestran una correlación negativa entre el tamaño del diámetro y la densidad (Garrido, 2003). Esta correlación es aún más evidente entre localidades, lo que sugiere que en las zonas de muestreo existe una disponibilidad de alimento en diferente grado como factor limitante, y el tamaño del erizo es un índice de dicha disponibilidad. Para los erizos disminuir su tamaño corporal en situaciones de escasez de alimento es una estrategia de supervivencia, por ende la acción del oleaje no afecta ni la densidad, ni el tamaño de los erizos, ya que, sitios con oleajes fuertes como La lobería y Tijeretas presentaron diferentes rangos de diámetro (Tijeretas = Verde: 3,566 cm, Lapicero: 5,7 cm y La Lobería = Verde: 5,2 cm, Lapicero: 4,833 cm) y densidad (Tijeretas = Verde: 3,483 ind/m<sup>2</sup>, Lapicero: 0,822 ind/m<sup>2</sup> y La Lobería = Verde: 0,819 ind/m<sup>2</sup>, Lapicero: 0.9415 ind/m<sup>2</sup>) en total durante todas las épocas climáticas.

La tendencia del tamaño del erizo, también puede disminuir a medida que incrementa la profundidad, ya que, a mayor profundidad el alimento es un factor limitante y por

consiguiente los erizos disminuyen su tamaño (Alves et al. 2001; Garrido, et al. 2000; Garrido 2003). Sin embargo, en este proyecto no se encontró una relación relevante entre estos dos factores, pues, la profundidad fue semejante para los cuatro sitios de muestreo.

Tuya et al. (2004) apuntó que densidades del erizo *D. antillarum* de 10 ind/m<sup>2</sup> pueden llegar a colapsar la producción bentónica completamente. Sin embargo, los resultados de este proyecto, no muestran una densidad mayor a 4,49 ind/m<sup>2</sup> para el erizo verde y 1,53 ind/m<sup>2</sup> para el lapicero, por lo tanto, posiblemente la densidad en los cuatro sitios de investigación no experimentan aún una densidad tan alta que atente con el normal desarrollo de las comunidades bentónicas. Sin embargo, se comprobó que las densidades superiores a los 4 erizos/m<sup>2</sup> (Tijeretas) reducen las comunidades de algas, formándose el hábitat característico de los suelos yermos, en donde el funcionamiento del sistema está controlado por los erizos, que en este caso sería el erizo verde (Cabanillas 2009).

#### *Cobertura de algas*

Con relación a la cobertura de algas en los diferentes sitios de muestreo, los resultados son consistentes con otros estudios (Tuya et al., 2004a; Tuya et al., 2007) pues, mostraron que a altas densidades del erizo lapicero (Carola), la cobertura de algas incrustantes aumenta y las algas foliosas disminuyen. Sin embargo, esto parece contradictorio, ya que, los erizos se alimentan de ellas, pero algunos autores como Steneck (1986 en Brandt 2003), sugieren que esto es un resultado normal, porque los herbívoros raramente reducen severamente las algas foliosas. Además, las algas incrustantes tienden a correlacionarse positivamente con la abundancia de sus depredadores y a su vez son el grupo de algas con mayor capacidad de defensa ante los efectos de una perturbación intensa por parte de los herbívoros (Brandt 2003).

Por otro lado, las bajas densidades del erizo lapicero (Tijeretas) provocó que las algas foliosas ulvaceas proliferaran, las mismas que desplazaron a otras especies competitivamente inferiores (algas rojas, Padinas, Dictyotas) (ver también: Lawrence 1975, Vance 1979,). Posiblemente entre las zonas de muestreo existen diferencias en la

disponibilidad de alimento (Sala et al., 1998), pero en este estudio no se tomaron en cuenta parámetros de nutrientes en el agua.

### *Reclutamiento de larvas*

Aguas frías conllevan mayor productividad en los océanos, promoviendo los propagulos asociados con la circulación de los mismos y por ende se generará una mayor producción de macro y micro algas (Lubchenco et al. 1981 ). En Bahía de Naufragio, el reclutamiento larval, coincide con la densidad de erizos adultos verdes, y existe una correlación negativa entre la temperatura y la densidad, es decir, la densidad de larvas de erizos desciende conforme la temperatura superficial aumenta (Epoca fría= Tipo1: 483 ind; Tipo 2: 38 ind). Además, se observó un aumento de diatomeas y otro tipo de larvas (artrópodos, conchas) durante los meses de Agosto y Septiembre (meses más fríos), lo que sugiere que fueron los meses de mayor productividad.

Los erizos poseen un mecanismo especialmente importante para su supervivencia, donde mantienen una larga fase larval planctónica que es capaz de dispersarse a grandes distancias (Thor 1961) y la distancia de dispersión larval desde las poblaciones de origen a los sitios de asentamiento pueden ser de cientos de kilómetros (Thor 1961). Por esta razón es probable que no se haya encontrado una relación relevante entre la ubicación de las trampas (sin y con erizos adultos), y la abundancia de larvas, ya que, las larvas halladas pudieron provenir de erizos adultos ubicados a una gran distancia del sitio de muestreo. Sin embargo, en estudios como los realizados por Cameron y Schroeter (1980) demuestran que larvas del erizo púrpura (*Strongylocentrotus purpuratus*), pueden establecerse en zonas intermareales preferentemente cerca de los adultos, mientras que en zonas submareales pudieran establecerse de manera indiscriminada (Cameron y Schroeter. 1980). Esto coincidió totalmente con los resultados del proyecto, pues las larvas de los erizos fueron encontradas de forma indiscriminada.

### *Conclusiones*

El presente estudio es importante como un primer intento de examinar y comparar las poblaciones de erizos lapiceros y verdes dentro de la isla de San Cristóbal, para así poder estimar una línea base, ya que no se han realizado estudios similares. Por ello, es necesario mantener un monitoreo a largo plazo dentro de las zonas estudiadas, para comprender la dinámica poblacional y reclutamiento frente cambios ambientales y eventos de mayor escala como El Niño, que afecta notoriamente los ecosistemas, pues, aumentan las temperaturas superficiales, lo cual a su vez intensifica los efectos generados por estos cambios, como son la disminución de algas y la desaparición de especies asociadas con estas. En el 2010, se espera que las costas del archipiélago sean afectadas por este fenómeno a partir del mes de Febrero, es por ello, que sería muy importante, estudiar los cambios que se dan de las poblaciones de erizos durante lo meses siguientes y así poder analizar como éstas se regeneran y hacen frente a estos factores. Sin embargo, para futuros monitoreos se recomienda tomar en cuenta la presencia y ausencia de depredadores como: peces, langostas, caracoles, e incluso rayas, para tener una mejor comprensión de los factores bióticos que influyen en las comunidades de erizos. Y para el caso de las larvas, se recomienda un análisis inmediato del sustrato obtenido de las trampas, pues las larvas son muy delicadas y tienden a deshacerse fácilmente, lo que sin duda perjudica la posibilidad de hallarlas, además se recomienda usar otros tipos sustancias para su fijación como Formalina al 0,05%.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Agatsuma Y., H. Yamada, and K. Taniguchi. 2006. Distribution of the sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* along a shallow bathymetric gradient in Onagawa Bay in northern Honshu, Japan. *Journal of Shellfish Research* 25:1027-1036.
- Alvarado, J. J., Cortes, J. and E. Salas. (2004). Population densities of *Diadema antillarum* Philippi at Cahuita National Park (1977-2003) Costa Rica. *Carib. J. Sci.* 40: 257-259.
- Alves, F. M. A., Chícharo, L. M., Serrão, E. & A. D. Abreu (2003). Grazing by *Diadema antillarum* (Philippi) upon algal communities on rocky substrates. *Scientia Marina* 67 (3): 307-311.
- Alves, F. M. A., Chicharo, L. M., Serrão, E., and Abreu, A. D. (2001) Algal cover and sea urchin spatial distribution at Madeira Island (NE Atlantic). *Scientia Marina* 65 (4): 383-392.
- Andrew, N. L. 1989. Contrasting ecological implications of food limitation in sea urchins and herbivorous gastropods. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 51: 189-193.
- Andrew, N.L. 1993. Spatial heterogeneity, sea urchin grazing, and habitat structure on reefs in Temperate Australia. *Ecology* 74(2): 292-302.
- Balch, T. and R. Scheibling. 2000. Temporal and spatial variability in settlement and recruitment of echinoderms in kelp beds and barrens in Nova Scotia. *Marine ecology progress serie.* 205:139-154.
- Beddingfield S., J. McClintock. 2000. Demographic characteristics of *Lytechinus variegatus* (Echinoidea : Echinodermata) from three habitats in a North Florida Bay, Gulf of Mexico. *Marine Ecology* 21:17-40.
- Black, R., Johnson, M. S. and Trendall, J. T. (1982). Relative size of Aristotle's lantern in *Echinometra mathaei* occurring at different densities. *Mar. Biol.* 71: 101–106.

- Bode, A., Alvarez-Ossorio, M. T., and Varela, M. (2006). Phytoplankton and macrophyte contributions to littoral food webs in the Galician upwelling estimated from stable isotopes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 318: 89-102.
- Brandt, M. and P. Guarderas. 2002. Erizos de mar. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. (Danulat, E. & G.J. Edgar eds.). pp 396-418. Fundación Charles Darwin/Servicio Parque Nacional Galápagos. Santa Cruz Galápagos, Ecuador.
- Brandt, M. 2003. Influencia del erizo lapicero (*Eucidaris thouarsii*) en la estructura de la comunidad submarina de la cara norte del Islote Caamaño, Galápagos. Quito.
- Brito, A., Hernández, J.C., Falcón, J. M., García, N., González-Lorenzo, G., Gil-Rodríguez, M. C., Cruz-Reyes, A., Herrera, G., Sancho, A., Clemente, S., Cubero, E., Girard, D. and J. Barquín (2004). El Erizo de lima (*Diadema antillarum*) una especie clave en los fondos rocosos litorales de Canarias. *Makaronesia* 6: 68-86.
- Banks, S.A. 1999. The use of AVHRR data in determining sea surface temperature zonation and variability across the Galápagos Marine Reserve. MSc Thesis Southampton University, 46 pp.
- Bustamante, R. T, Okey and S. Banks. 2007. Biodiversity and Food-Web Structure of a Galápagos Shallow Rocky-Reef Ecosystem.
- Cabanillas, N. 2009. Tesis de doctorado: Ecología y estatus trófico del erizo de mar *Diadema antillarum* en los fondos rocosos de las islas Canarias- España. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. 274 pp.
- Cameron, R. and C. Schroeter. 1980. Sea Urchin Recruitment: Effect of Substrate Selection on Juvenile Distribution. *Marine Ecology*, 2: 243-247.
- Casañas, A., Larsen, H. H. and R. Haroun (1998). Developmental stages of blanquizal to herbivory by the sea urchin *Diadema antillarum* Philippi (Echinoidea: Diadematidae) in the Canary islands. *Bol. Mus. Mun. Funchal* 5: 139-146.
- Constant, P. 2003. Marine life of the Galápagos, Calao Life, China, 308 pp.
- Domínguez, A., Rosas, J., Velásquez, A., and T. Cabrera. 2007. Desarrollo, supervivencia y crecimiento del erizo *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) (Echinodermata:

- Echinoidea) alimentado con microalgas a dos salinidades y temperaturas diferentes. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 42(1): 49 – 57
- Edgar, G., Banks S., Farina, M., Calvopina, M., and C. Martinez. 2004a. Regional biogeography of shallow reef fish and macro-invertebrate communities in the Galapagos Archipelago. *Journal of Biogeography* 31: 1107–1124.
- Elner, R.W. and R.L. Vadas. 1990. Inference in ecology: the sea urchin phenomenon in the northwestern Atlantic. *The American Naturalist* 136: 108-125.
- Frank, D. 2008. Evidence for top predator control of a grazing ecosystem. *Oikos*. Freeman
- S. 2003. Size-dependent distribution, abundance and diurnal rhythmicity patterns in the short-spined sea urchin *Anthocidaris crassispina*. *Estuarine coastal and shelf science* 58:703-713.
- Garrido, M. J. (2003). Contribución al conocimiento de *Diadema antillarum* Philippi 1845, en Canarias. Director: Ricardo J. Haroun Tabraue. Tesis doctoral inédita. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Biología. 107 pp.
- Garrido, M. J., Haroun, R. J. and H. A. Lessios (2000). Annual reproductive periodicity of the sea urchin *Diadema antillarum* Philippi in the Canary Islands. *Bulletin of Marine Science* 67 (3): 989-996.
- Glynn, P.W. 1998. El Niño warming, coral mortality and reef framework destruction by echinoid bioerosion in the eastern Pacific. *Galaxea* 7: 129-160.
- Harris, M.P. 1969. Breeding season of sea-birds in the Galápagos Islands. *Journal of Zoology* 159: 145-165.
- Hay, M. (1981). Herbivory algal distribution and the maintenance of between-habitat diversity on a tropical fringing reef. *The American Naturalist*, 118(4), 520-540.
- Hearn, A. 2008. The rocky path to sustainable fisheries management and conservation in the Galápagos Marine Reserve. *Ocean & Coastal Management*, 51, 567–574.
- Hereu, B. M, Zabala and E. Sala. 2008. Multiple controls of community structure and dynamics in a sublittoral marine environment. *Ecology*, 89(12): 3423–3435.

- Hickman, C. 1998. Guía de campo sobre estrellas de mar y otros equinodermos de Galápagos. Sugar Spring Press, Lexington, Virginia, USA, 83 pp.
- Kitching, J.A. and F.J. Ebling. 1961. The ecology of Lough Ine. XI. The control of algae by *Paracentrotus lividus* (Echinoidea). *Journal of Animal Ecology* 30: 373-383.
- Konar, B. 2000. Seasonal Inhibitory Effects of Marine Plants on Sea Urchins: Structuring Communities the Algal Way. Springer. 125, 208-217
- Lambert, D and L. Harris. 2000. Larval Settlement of the Green Sea Urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, in the Southern Gulf of Main. *Invertebrate Biology*. 119(4): 403-409.
- Lawrence, J.M. 1975. On the relationship between marine plants and sea urchins. *Oceanography Marine Biology Annual Review* 13: 213-286.
- Lewis, S.M. 1986. The role of herbivorous fishes in the organization of a Caribbean reef community. *Ecological Monographs* 56(3): 183-200.
- Lubchenco, J. 1978. Plant species diversity in a marine intertidal community: importance of herbivore food preference and algal competitive abilities. *The American Naturalist* 112: 23-39.
- Marshall P., G. Edgar. 2003. The effect of the Jessica grounding on subtidal invertebrate and plant communities at the Galapagos wreck site. *Marine pollution bulletin* 47:284-295.
- McClanahan, T. R. (1994). Kenyan coral reef lagoon fish: Associations with reef management, complexity and sea urchins. *Coral Reefs* 13: 231-241.
- Morrison, D. (1998). Comparing fish and urchin grazing in shallow and deeper coral reef algal communities. *Ecology*, 69(5), 1367-1382.
- Parque Nacional Galápagos. "Sitios de visita". [On line], <[www.galapagospark.org](http://www.galapagospark.org)> [Consulta: Octubre 2009].
- Paine, R.T. & R.L. Vadas. 1969. The effects of grazing by sea urchins, *Strongylocentrotus* spp., on benthic algal populations. *Limnology and Oceanography* 14: 710-719.

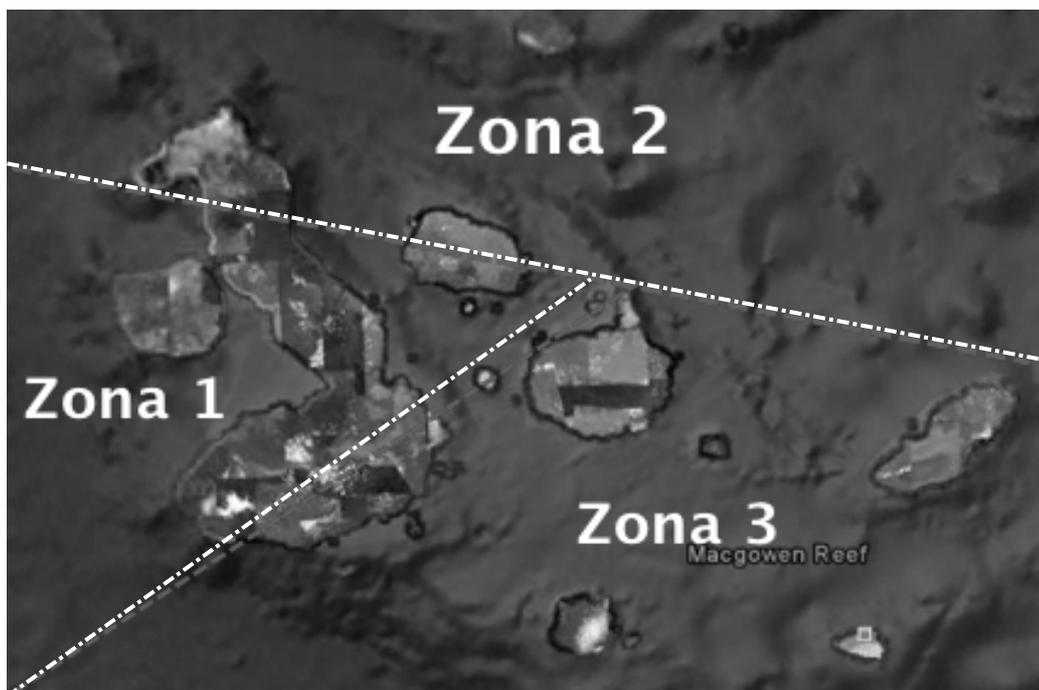
- Paine, R.T. 1966. Food web complexity and species diversity. *The American Naturalist* 100: 65-76.
- Pederson H., C. Johnson. 2008. Growth and age structure of sea urchins (*Heliocidaris erythrogramma*) in complex barrens and native macroalgal beds in eastern Tasmania. *ICES Journal of Marine Science* 65:1-11.
- Posey, M. T, Alphin and L. Cahoon. 2006. Benthic community responses to nutrient enrichment and predator exclusion: Influence of background nutrient concentrations and interactive effects. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 330, 105–118.
- Sala, E., Ribes, M., Hereu, B., Zabala, M., Alvà, V., Coma, R. & J. Garrabou. 1998b. Temporal variability in abundance of the sea urchin *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula* in the western Mediterranean: comparison between a marine reserve and a non protected zone. *Marine Ecology Progress Series* 168: 135-145.
- Sala, E. and M. Zabala. 1996. Predation and the structure of the sea urchin *Paracentrotus lividus* populations in the NW Mediterranean. *Marine ecology progress serie*. 140:71-81.
- Salas, A. C, Carpizo, R. Parés and R. Quintana. 2002. Producción de juveniles de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (Echinodermata: Echinoidea) en Baja California, México. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California.
- Sammarco, P. W. (1982). Echinoid grazing as a structuring force in coral communities: Whole reef manipulations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 61: 31-55.
- Scheffer, M., Nes, E. and T. Hughes. 2008. Pulse-Driven Loss of Top-Down Control: The Critical-Rate Hypothesis. *Ecosystems* ,11: 226–237.
- Smith, D. 1977. A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae. Virginia, USA, 161 pp.
- Tak-Cheung, W and A. Williams. 2005. The relative importance of herbivore-induced effects on productivity of crustose coralline algae: Sea urchin grazing and nitrogen excretion. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 324, 141– 156.

- Toro-Farmer, G., Cantera, J., Lodoño, E. and C. Orozco. 2004. Patrones de distribución y tasas de bioerosión del erizo *Centrostephanus coronatus* (Diadematoida: Diadematidae), en el arrecife de Playa Blanca, Pacífico colombiano. *Revista de Biología Tropical*. Versión impresa.
- Tuya, F., Cisneros-Aguirre, J., Ortega-Borges, L. & R. J. Haroun. 2007. Bathymetric segregation of sea urchins on reefs of the Canarian Archipelago: Role of flow-induced forces. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 481-488
- Tuya, F., Boyra, A., Sanchez-Jerez, P., Barbera, C. and R. J. Haroun (2004). Relationships between rocky-reef fish assemblages, the sea urchin *Diadema antillarum* and macroalgae throughout the Canarian Archipelago. *Marine Ecology Progress Series* 278: 157-169.
- Underwood, A.J., Jernakoff, P. 1981. Effects of interactions between algae and grazing gastropods on the structure of a low-shore intertidal algal community. *Oecologia*, 48(2), 221-223.
- Universidad de Stanford. "Fecundación in-vitro de erizos de mar". [On line],  
<<http://www.stanford.edu/group/Urchin/contents.html>> [Consulta: Agosto 2009]
- Vance, R.R. 1979. Effects of grazing by the sea urchin, *Centrostephanus coronatus*, on prey community composition. *Ecology* 60(3): 537-546.
- Vadas R., B. Smith, B. Beal, and T. Dowling. 2002. Sympatric growth morphs and size bimodality in the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Ecological Monographs* 72:113-132.
- Vinueza, L. G, Branch and R. Bustamante. 2006. Top-down herbivory and bottom-up El Niño effects on Galápagos rocky-shore communities. *Ecological Monographs*, 76 (1): 111-131.

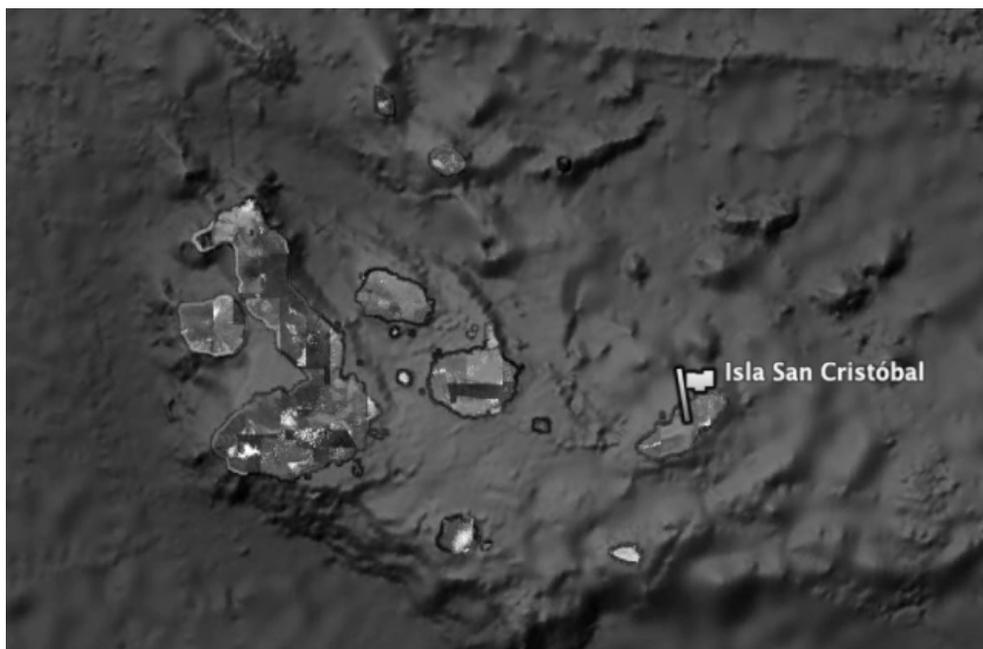
## ANEXOS.

### Mapas.

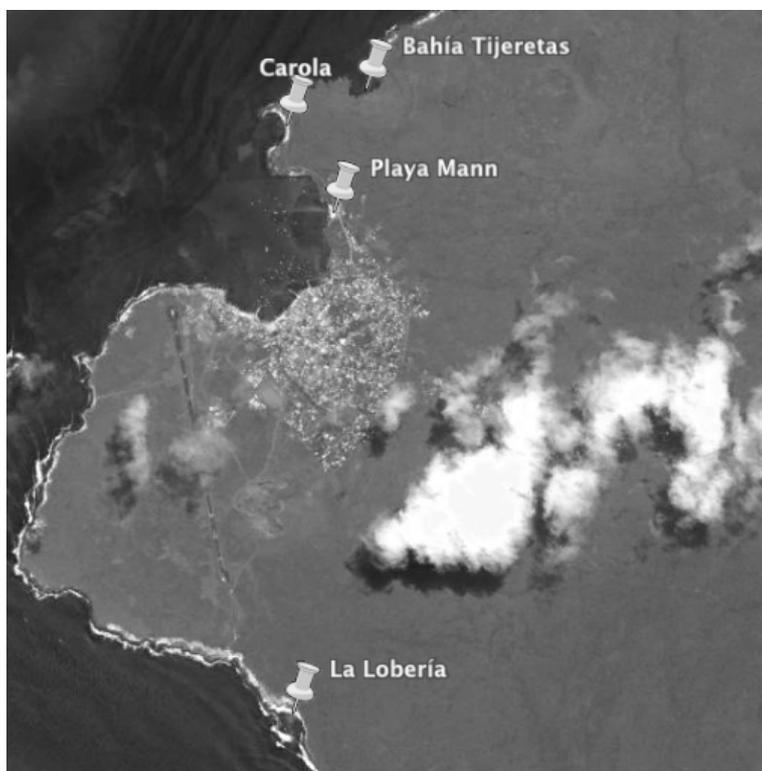
MAPA 1. Zonificación con respecto a la temperatura superficial según Edgar 2004 . (eg. Google Earth)



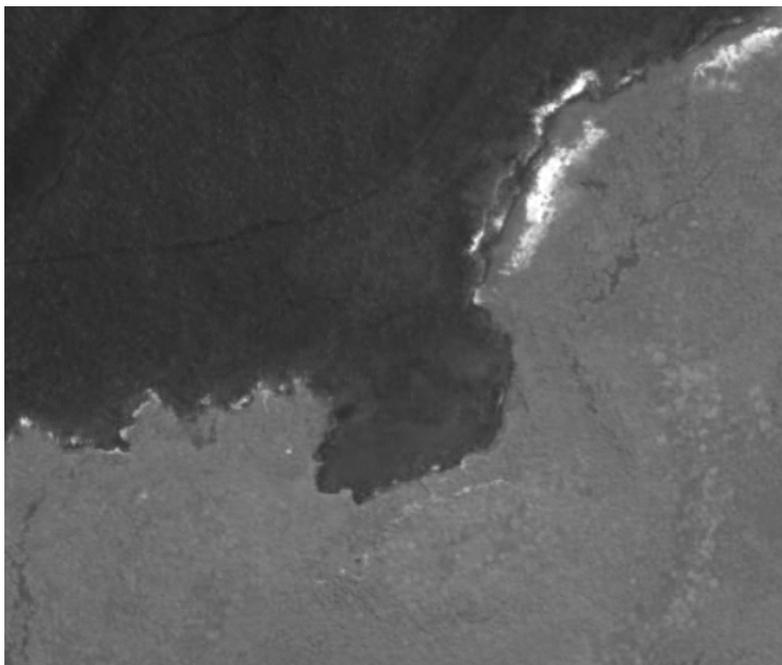
MAPA 2. Ubicación de la isla San Cristóbal con respecto al Archipiélago de Galápagos (eg. Google Earth).



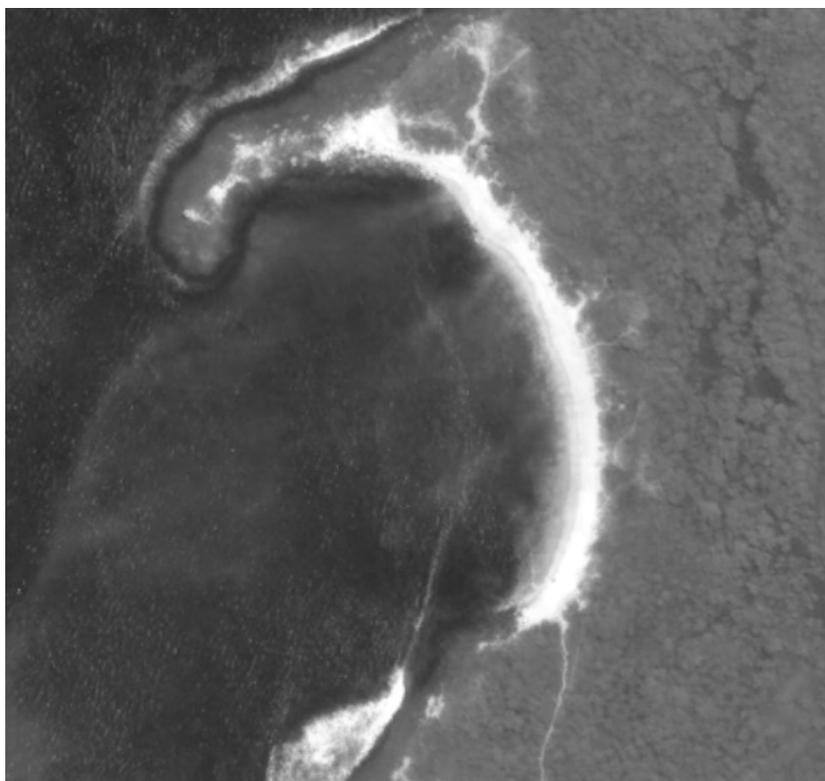
MAPA 3. Sitios de muestreo con respecto a Puerto Baquerizo Moreno al sur de San Cristóbal (eg. Google Earth)



MAPA 4. Bahía Tijeretas (eg. Google Earth).



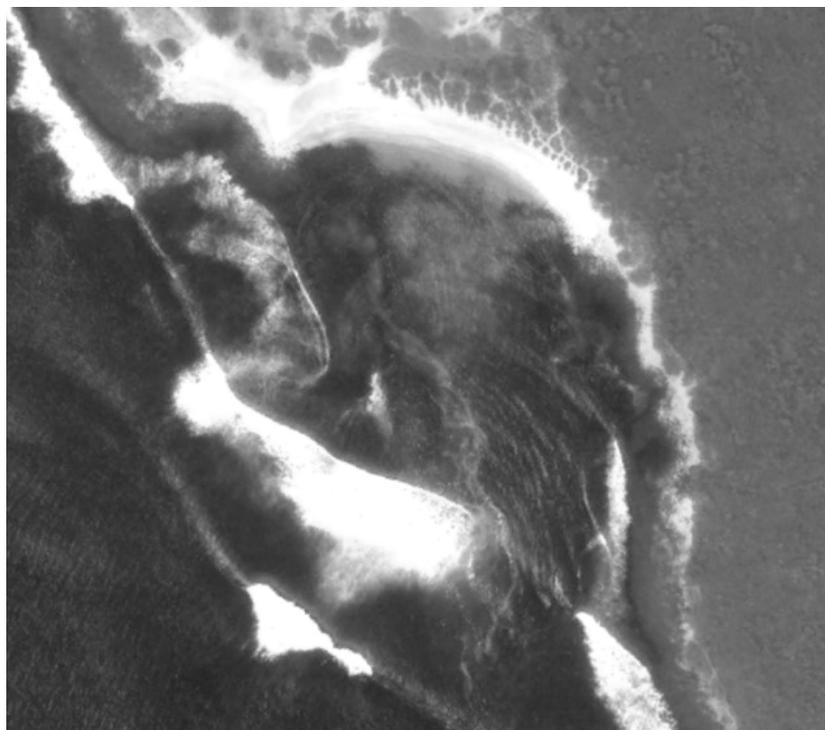
MAPA 5. Punta Carola (eg. Google Earth).



MAPA 6. Playa Mann (eg. Google Earth).



MAPA 7. La Lobería (eg. Google Earth)



## Tablas.

TABLA 1. Número de transectos por sitio y época climática.

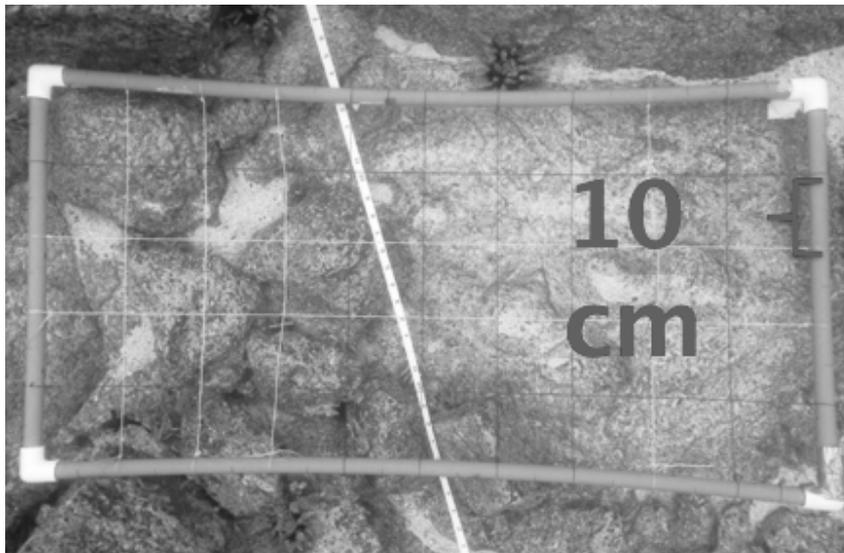
Zona/ Época	Época Fría	Época de Transición	Época Cálida	Total transectos
Bahía Tijeretas	9	5	10	24
Punta Carola	8	8	8	24
Playa Mann	8	8	8	24
La Lobería	7	16	9	32
<b>Total transectos</b>	31	37	35	104

TABLA 2. Profundidades de muestreo.

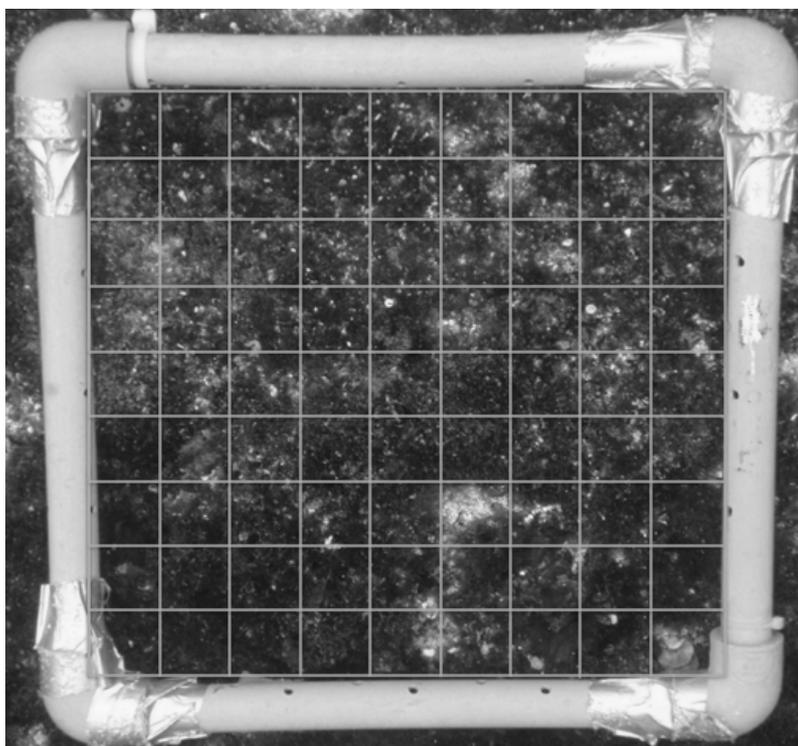
Zona	Profundidad Mínima (m)	Profundidad Máxima (m)
Bahía Tijeretas	2	6
Punta Carola	0,5	4
Playa Mann	2	4
La Lobería	0,5	3

## Imágenes.

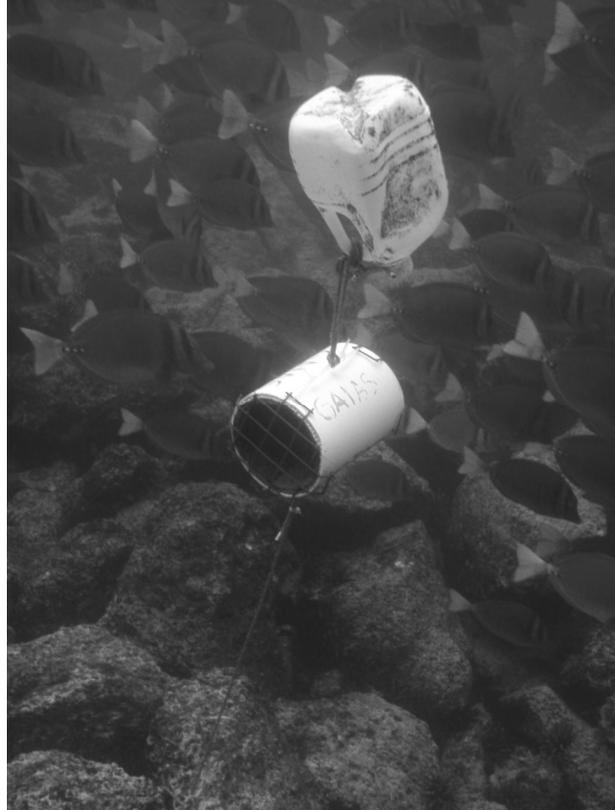
IMÁGEN 1. Referencia de tamaño en el cuadrante para la medición del diámetros de los erizos.



IMÁGEN 2. Cuadrilla de 100 puntos para el análisis de cobertura de algas



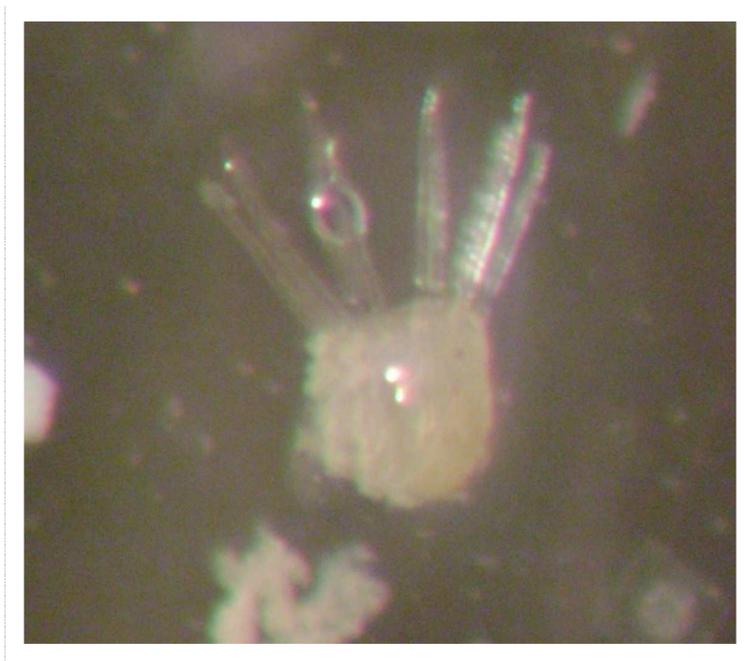
IMÁGEN 3. Trampa de PVC para el reclutamiento de larvas



IMÁGEN 4. Erizo juvenil Tipo 1



IMÁGEN 5. Erizo juvenil Tipo 2



## Figuras.

FIGURA 1. Tendencia del valor de la media de la densidad de erizo verde (*Lytechinus semituberculatus*) en las temporadas cálida, transición y fría (N = 104 transectos)

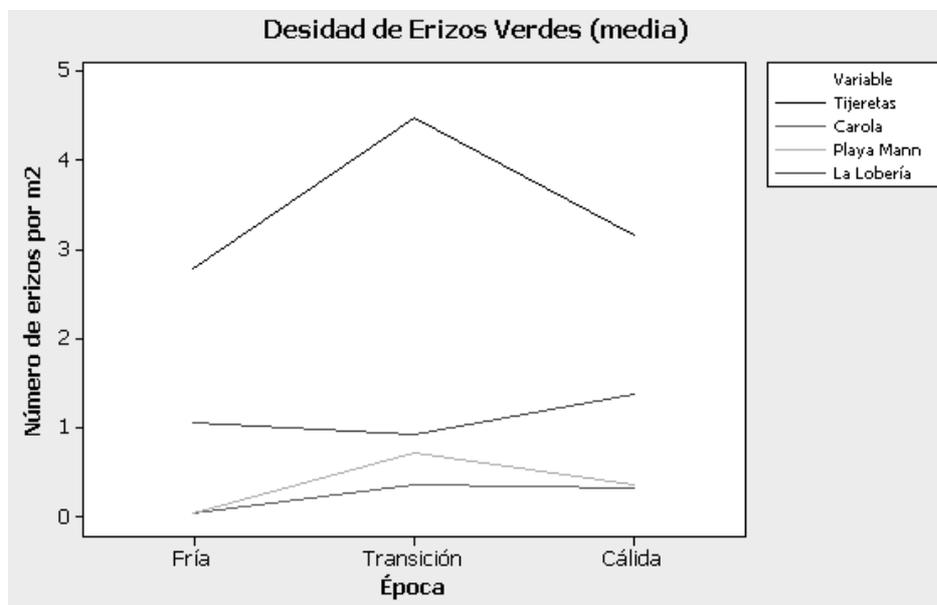


FIGURA 2. Tendencia del valor de la media de la densidad de erizo lapicero (*Euclidaris thuarsii*) en las temporadas cálida, transición y fría (N=104 transectos)

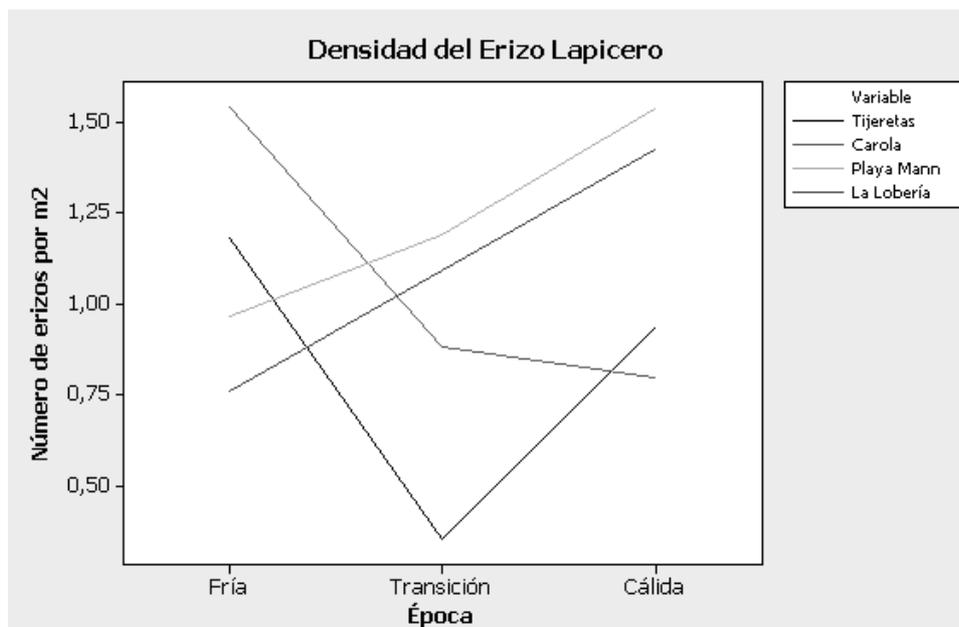


FIGURA 3. Valores de la moda para el erizo verde (*Lytechinus semituberculatus*) en las temporadas cálida, transición y fría (N=2285 erizos)

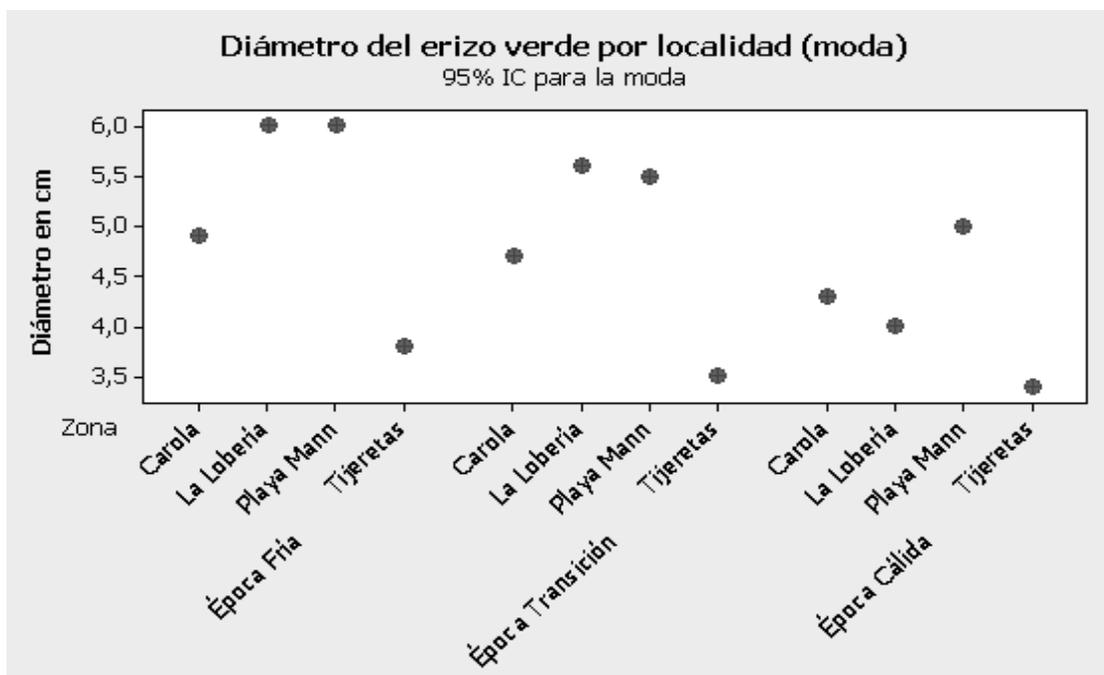


FIGURA 4. Valores de la moda para el erizo lapicero (*Eucidaris thursii*) en las temporadas cálida, transición y fría (N= 2209 erizos)

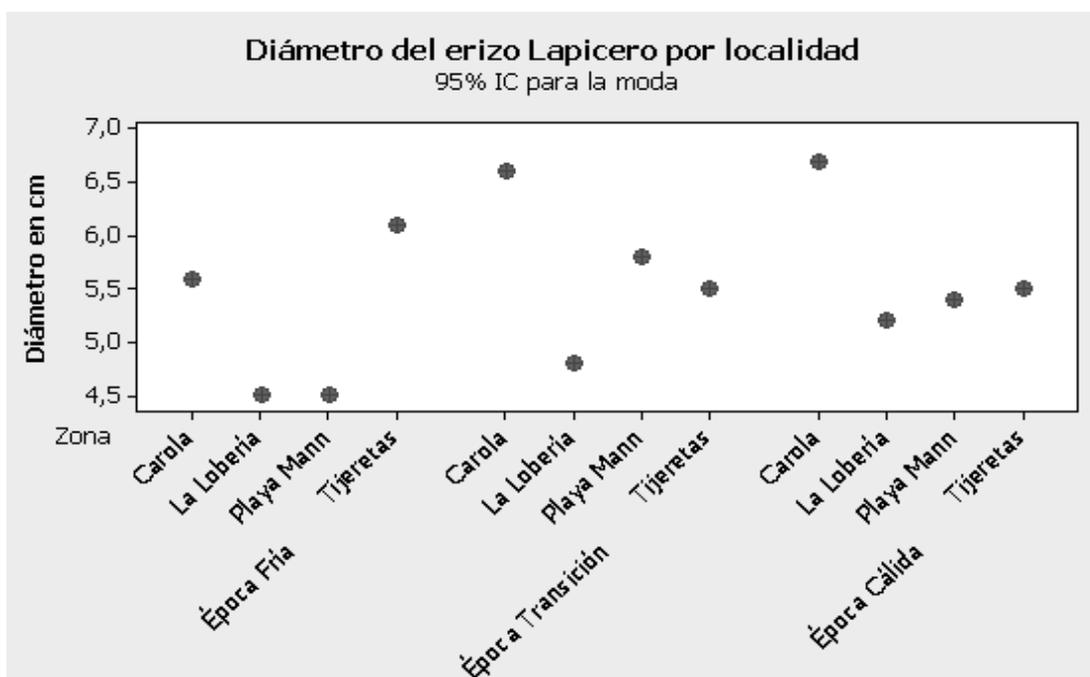


FIGURA 5. Ocurrencia de rangos de tamaño del erizo verde y lapicero en las temporadas cálida, transición y fría (4573 erizos de las dos especies)



FIGURA 6. Variación del porcentaje de cobertura de las algas con respecto al sitio y a la época climática (N= 728 cuadrantes)

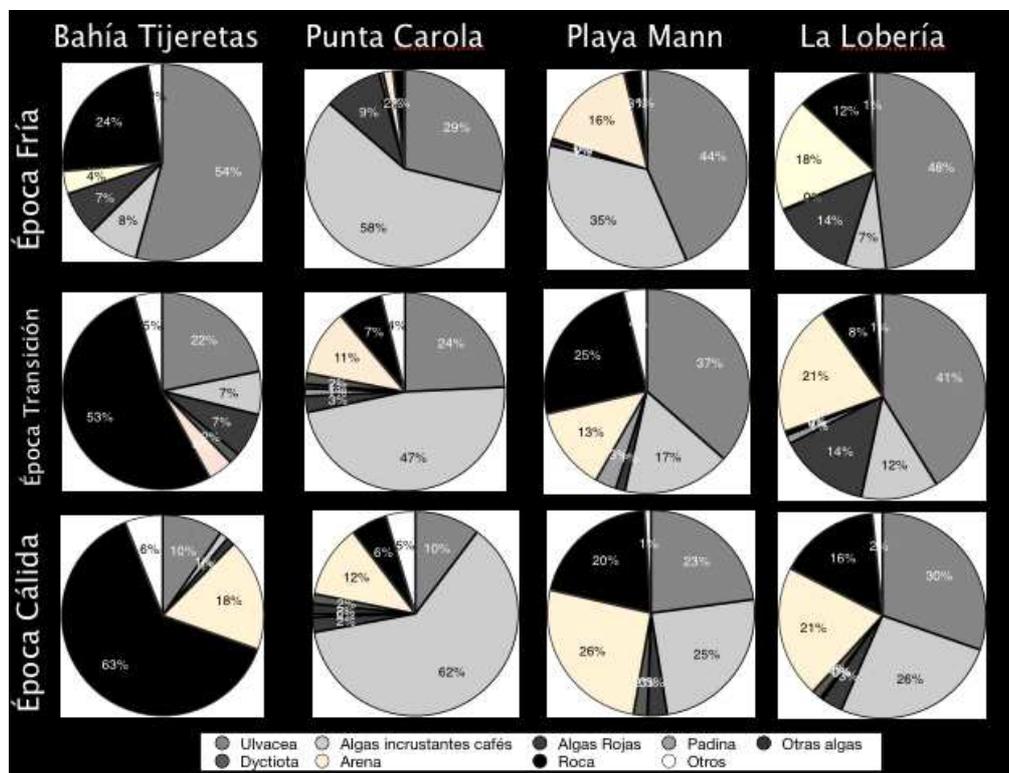




FIGURA 9. Densidad de larvas equinopluteos y juveniles del Tipo 1 y 2 (N=36 trampas)

