

TESIS DEFENDIDA POR
Rodrigo Beas Luna
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dra. Lydia Betty Ladah
Director del Comité

Dra. María Tereza Cavazos Pérez
Miembro del Comité

M. en C. Vicente Ferreira Bartrina
Miembro del Comité

Dr. Juan Carlos Herguera García
*Coordinador del programa de
posgrado en Ecología Marina*

Dr. Raúl Ramón Castro Escamilla
Director de Estudios de Posgrado

15 de Diciembre del 2005

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGÍA MARINA**

**DINÁMICA POBLACIONAL DEL ERIZO MORADO *Strongylocentrotus purpuratus*
EN EL BORDE ENTRE UN MANTO DE SARGAZO Y UN DESIERTO DE ERIZOS EN
LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, MEXICO.**

TÉSIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

RODRIGO BEAS LUNA

Ensenada, Baja California, México, Febrero del 2004.

RESUMEN de la tesis de **Rodrigo Beas Luna**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ECOLOGÍA MARINA con orientación en PROCESOS ECOLÓGICOS. Ensenada, Baja California. Diciembre 2005.

DINÁMICA POBLACIONAL DEL ERIZO MORADO *Strongylocentrotus purpuratus* EN EL BORDE ENTRE UN MANTO DE SARGAZO Y UN DESIERTO DE ERIZOS EN LA PENÍNSULA DE BAJA CALIFORNIA, MEXICO.

Resumen aprobado por:

Dra. Lydia Betty Ladah
Directora de Tesis

El erizo morado (*Strongylocentrotus purpuratus*) se ha definido como una especie que estructura las comunidades algales de la península de Baja California siendo el principal pastoreador de los bosques de sargazo gigante de *Macrocystis pyrifera*. El efecto del erizo en los bosques de sargazo varía en respuesta a la disponibilidad de alimento, a las condiciones ambientales y las interacciones ínterespecificas. Para evaluar las características poblacionales del erizo morado, se llevo a cabo un muestreo submareal a ~20 m de profundidad donde existe la convergencia entre los mantos de sargazo gigante de *Macrocystis pyrifera* y los desierto de erizos. Se compararon 4 sitios de muestreo: Islas Todos Santos y Campo Kennedy localizados en el norte de la península, sujetos a presión pesquera; Isla Natividad y Bahía Tortugas localizados en el sur (cerca del límite sur de distribución tanto para *S. purpuratus* como para *M. pyrifera* y sin esfuerzo pesquero). Se colectaron datos de densidad poblacional, diámetro de la testa (mm) e índice gonádico del erizo y densidad de frondas por planta de *M. pyrifera*, para comparar la estructura poblacional del erizo y su asociación con los mantos de sargazo en invierno del 2003 y primavera del 2004. Los resultados muestran que la variación de las características poblacionales del erizo se encuentra altamente correlacionada con las características poblacionales de los mantos (mayor densidad e índice gonádico del erizo se asocian con mayor cantidad de alimento disponible). No se pudo identificar el efecto del erizo sobre los mantos (densidad de plantas homogénea desde el borde al centro del manto), posiblemente debido a que la pesquería está regulando las poblaciones del erizo y controlando el sobre pastoreo. Se recomienda seguir estudiando este sistema para recopilar mayores observaciones sobre la dinámica entre estos dos estados alternos y poder proponer una regulación exitosa para mantener estos recursos.

Palabras clave: *Strongylocentrotus purpuratus*, dinámica poblacional, *Macrocystis pyrifera*, estados estables alternos.

ABSTRACT of the thesis presented by **Rodrigo Beas Luna** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in MARINE ECOLOGY with ECOLOGICAL PROCESSES orientation. Ensenada, Baja California, México. December of 2005.

**POPULATION DYNAMICS OF THE PURPLE SEA URCHIN
(*Strongylocentrotus purpuratus*) IN THE THRESHOLD BETWEEN A KELP
BED AND AN URCHIN BARREN IN THE BAJA CALIFORNIA PENINSULA.**

It has been defined that the Purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*) is the principal grazer that structure the algal communities off the coast of the Baja California Peninsula. The effect of the sea urchins on the kelp beds varies in response of its food availability, environmental conditions and interspecific interactions. In order to evaluate the purple sea urchin population characteristics we conducted subtidal population structure surveys at ~20 m depth where an urchin barren and a kelp bed existed (where urchin harvest effort is direct). We compared 4 sites: Isla Todos Santos and Campo Kennedy in the north (highly fished), and Isla Natividad and Bahía Tortugas in the south (protected areas). Bahía Tortugas is also the southern limit of the range for purple urchins as well as for *Macrocystis pyrifera* (its favorite feeding resource). We sampled urchin population density, test diameter (mm) and gonad index, as well as kelp density and fronds per plants to compare the sea urchin population structure and its association with kelp beds along the Baja peninsula in winter 2003 and spring 2004. The result showed that the sea urchin and kelp beds population characteristics are highly correlated (higher sea urchin density and gonad index are related with higher food availability concentration). The sea urchin effect on the kelp bed couldn't be identify because the density distribution of the sea urchin across the border between the kelp bed and the urchin barren was homogenous, maybe due to the over grassing control by the fisheries. Nonetheless it's recommended to keep studying this system to compile major observations about the dynamics within this two stable states of the community in order to propose a successful regulation to maintain these resources.

Key words: *Strongylocentrotus purpuratus*, population dynamics, *Macrocystis pyrifera*, alternative stable states.

A mis padres.

Agradecimientos

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), al Departamento de Ecología de CICESE, a la Dra. Lydia Ladah y a la Fundación Beas por el financiamiento otorgado.

- A la Sociedad Cooperativa Bahía Tortugas, S.C.L., a la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Buzos y Pescadores de la Baja California” S. C. L. y al Sr. Petersen por de la concesión de Isla Todos Santos por su apoyo incondicional.

- A la Dra. Lydia Ladah por aceptarme como su estudiante, brindarme todo lo necesario para llevar a cabo este trabajo y confiar en mí.

- A Vicente Ferreira, Tere Cavazos, Alicia Abadía, Antonio Beas, Florencia Colombo, Brigitte Gavio, Dolores Sarracino, Claudio Uribe, Anna White y Rafael Bello por todo su esfuerzo y compromiso de observar, criticar, y proponer ideas para este trabajo.

- A Daniel Guzmán, Andrés Ortinez, Vanesa Francisco y Lorenzo Álvarez, Antonio Trujillo por su tiempo y esfuerzo en los muestreos submareales.

- A Paloma Ladrón de Guevara, Helmut Maske y Sharon Herzka por permitirme consultar sus libros y a Jorge Rosales por la báscula que destrocé en el camino.

- A todo el Personal administrativo y docente del CICESE por su apoyo y enseñanzas.

- A toda la banda que conocí en Baja California por ser tan gente.

¡Muchas Gracias!

Contenido

	Página
I. Introducción.....	1
I.1. Antecedentes.....	8
I.2. Justificación.....	15
II. Hipótesis.....	17
III. Objetivos.....	17
III.1. Objetivo general.....	17
III.2. Objetivos particulares.....	17
IV. Metodología.....	18
IV.1. Área de estudio.....	18
IV.2. Descripción de localidades.....	20
IV.3. Muestreo.....	21
IV.4. Análisis estadístico.....	24
V. Resultados	27
V.1. Esfuerzo de colecta.....	27
V.2. Densidad de erizo.....	27
V.3. Talla de erizo.....	31
V.4. Índice Gonadal.....	37
V.5. Mantos.....	41
V.6. Temperatura.....	45
V.7. Áreas de pesca y conservación.....	47
VI. Discusión.....	48
VII. Conclusiones.....	55
VIII. Literatura citada.....	56

Lista de Figuras

Figura		Página
1	Vista de la cara aboral de un erizo de mar	1
2	Distribución del erizo morado <i>Strongylocentrotus purpuratus</i> .	3
3	Distribución de <i>Macrocystis</i> en el globo. Tomado de Connor y Baxter (1989)	6
4	Representación de una planta adulta de <i>Macrocystis pyrifera</i> tomada de Utter y Denny (1996).	7
5	Modelo conceptual de los estados de la comunidad tomada de Pinnegar <i>et al.</i> , (2000).	13
6	Distribución de los sitios de muestreo. Los cuadros rellenos muestran las localidades submareales del norte (Isla Todos Santos y Campo Kennedy), los cuadros sin relleno a las localidades submareales en el sur (Isla Natividad y Bahía Tortugas).	19
7	Arreglo de transectos y cuadrantes para muestreo de los mantos de <i>M. pyrifera</i> en el ambiente submareal	21
8	Detalle del arreglo de los cuadrantes a lo largo del transecto para diferenciar el borde del manto con el desierto de erizos.	22
9	Distribución de la densidad del erizo en localidad (tiempo*Localidad). Las letras A, B, y C muestran los grupos asignados por la prueba LSD.	29
10	Distribución de la densidad de erizos en las zonas desde adentro del manto (1) hasta el desierto de erizos (11), en las dos temporadas de muestreo. A) representa la densidad en invierno y B) es la representación en primavera.	30
11	Distribución de la densidad de erizos en los tiempos de muestreo (invierno y primavera).	31
12	Distribución de tallas obtenida del total de los erizos morados en el ambiente submareal.	32

Lista de figuras (continuación)

Figura		Página
13	Distribución de las tallas en los sitios de muestreo. Las letras muestran los grupos asignados por la prueba LSD.	34
14	Estructura de tallas de erizo por localidades en tiempo de muestreo. A, B y C muestran los grupos asignados por la prueba LSD.	35
15	Distribución de tallas de erizo entre las zonas en las dos temporadas de muestreo. Los números representan las zonas en un rango de 1 el más adentro del manto, la zona 6 el borde y la zona 11 la más alejada del manto.	36
16	Distribución del índice gonádico en las localidades para las dos temporadas de muestreo.	39
17	Comparación del Índice Gonádico entre las zonas de muestreo. 1 es dentro del manto, 6 en el borde y 11 el desierto de erizos. Las letras indican los grupos asignados por la prueba LSD.	40
18	Comparación de la densidad de plantas entre las localidades muestreadas	42
19	Comparación del número de frondas por planta para las localidades muestreadas. Las letras indican los grupos asignados por la prueba LSD.	43
20	Comparación de la densidad de frondas entre las localidades muestreadas. Las letras muestran los grupos asignados por la prueba LSD.	44
21	Serie de tiempo de la temperatura de fondo en las localidades muestreadas. ITS: Islas Todos Santos, IN: Isla Natividad y BT: Bahía Tortugas.	46

Lista de tablas

Tabla		Página
I	Resultados del esfuerzo de colecta.	27
II	ANOVA anidada para la densidad de erizos.	28
III	ANOVA anidada para la talla de erizo.	33
IV	Estadísticas descriptivas de las tallas en las zonas de muestreo	34
V	Kruskal – Wallis para tallas de erizo para zonas en tiempo.	36
VI	Estadísticas descriptivas de los métodos para calcular el índice gonadal.	37
VII	Estadísticas descriptivas de la temperatura en las zonas de muestreo	38
VIII	Resultados del esfuerzo de colecta para los mantos de macroalgas	41
IX	Estadísticas descriptivas de la temperatura del fondo para cada localidad	45

I. Introducción

Strongylocentrotus purpuratus, el erizo morado, pertenece al phylum Echinodermata (del latín “cuerpo espinoso”). Su cuerpo es redondo con un caparazón o testa simétricamente radiada, cubierta por espinas móviles de color morado brillante que pueden ser regeneradas. La parte oral del erizo, donde se localiza la boca, da lugar a un complejo aparato mandibular llamado linterna de Aristóteles, que se encuentra orientada hacia el sustrato. A la parte superior se le denomina aboral (Fig. 1). La superficie corporal esta provista de pies tubulares los cuales se utilizan para atrapar materiales como trozos de conchas, piedras, desechos y algas a la deriva para su alimentación o camuflaje (Richner y Milinski, 2000), además para permanecer adheridos firmemente al sustrato, o hasta para locomoción (Ebert, 1965).

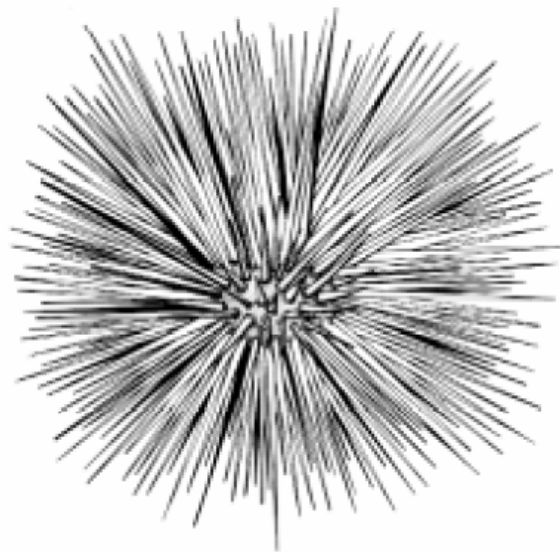


Figura 1. Vista de la cara aboral de un erizo de mar.

Strongylocentrotus purpuratus se encuentra desde la zona intermareal de costas rocosas con oleajes de moderados a fuertes hasta los 160 metros de profundidad. Se distribuye desde las Islas de Vancouver hasta la Isla de Cedros en Baja California (Morris *et al.*, 1980) (Fig. 2). No puede tolerar ambientes bajos en oxígeno, por tanto, vive en sitios bien aireados. No presentan diferencias externas entre machos y hembras pero si tienen sexos separados aunque pueden aparecer hermafroditas. Su madurez reproductiva la alcanzan a los 2 años de edad cuando llega a la talla aproximada de 25mm de diámetro (Morris, 1980; Barnes, 1987).



Figura 2. Distribución de el erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus*.

Los erizos muestran fuertes preferencias por *Macrocystis pyrifera* (L. Agadh) que por el resto de las algas y parecen encontrar en los esporofilos el alimento más atractivo de todos (Dean *et al*, 1984; Duggins, 1981; Ebert, 1968; Leighton *et al*, 1966; Sala y Graham, 2002). Cuando la vegetación ha desaparecido, los erizos migran buscando otras fuentes de alimento como diatomeas o algas coralinas raspando el fondo marino.

S. purpuratus y *S. franciscanus* son los erizos mas abundantes en el norte de la península de Baja California, ocupan hábitat similar y tienen la misma dieta (Dayton y Connell, 1977). Existe una relación muy peculiar con estos dos erizos por sus preferencias alimenticias ya que sus profundidades de distribución se traslapan (Leighton, 1971), el erizo morado desde el intermareal hasta 160 metros de profundidad y el rojo solo en el Submareal (Schoroeter *et al.*, 1993; Palleiro *et al.*, 2004). *S. franciscanus* ejerce una presión de exclusión hacia *S. purpuratus* debido a que presenta espinas más largas, las cuales pueden llegar a tocar e irritar el epitelio de *S. purpuratus* (Connell y Schroeter, 1975). Pero si *S. franciscanus* es eliminado del sitio, *S. purpuratus* rápidamente aumenta su rango de profundidad ocupando el de *S. franciscanus* y sobre - pastorea a las microalgas y al sargazo a una tasa mayor que *S. franciscanus* (Dayton y Connell, 1977) con la capacidad de podar completamente un manto.

Los mantos de macroalgas de *Macrocystis pirifera* tienen gran importancia tanto ecológica como económica. Proporcionan alimento, hábitat y refugio a muchas especies de invertebrados, peces, aves y mamíferos soportando una compleja red trófica (Konig, 2001). Un manto de macroalgas fija 20% más carbono que una selva tropical a una tasa de 25 kg m⁻² año⁻¹ (North y Manley, 1986). Sin embargo, es fuertemente afectado por uno de los componentes principales de los bosques de sargazo: el herbívoro y agresivo pastoreador, el erizo de mar.

Los mantos de sargazo gigante forman una comunidad característicamente compleja presente en la zona submareal de la mayoría de las costas rocosas templadas. Generalmente son algas de gran tamaño con frondas y hojas situadas a lo largo de la columna de agua que

proveen comida y hábitat a las especies que ocurren en estas regiones. La columna de agua de un manto puede soportar algunos millares más de organismos que cualquier sustrato puramente rocoso o arenosos (McPeak *et al.*, 1988). El tamaño de los organismos que habitan estas comunidades va desde microscópico hasta individuos de varios metros, todos estos viven, se esconden, se alimentan o se reproducen entre, en o de las frondas de estas macroalgas.

Como componente principal y estructurando esta comunidad se encuentra una alga café conocida como *Macrocystis pyrifera*, la planta marina mas larga presente en nuestro planeta (McPeak *et al.*, 1988). Bajo condiciones óptimas de temperatura y nutrientes esta puede crecer hasta 30 centímetros por día y alcanzar la talla de hasta 45 metros de longitud, dominando el submareal y el intermareal rocoso (Foster y Schiel, 1985).

Los mantos de *M. pyrifera* tienen una distribución bipolar, están presentes en latitudes de baja temperatura en las costas del Pacífico de Norteamérica, Sudamérica y Sudáfrica (Fig. 3) prefiriendo zonas con surgencias costeras que proveen agua fría y rica en nutrientes (Connor y Baxter, 1989; Brown *et al.*, 1997). Un sustrato rocoso es el adecuado para permitir su adherencia. La concentración alta de nutrientes, el movimiento de agua moderado y el agua fría y clara con temperaturas entre los 9 y 14°C son característicos de su hábitat (Abott y Hollenberg, 1976).



Figura 3. Distribución de *Macrocyctis* en el globo. Tomado de Connor y Baxter (1989)

Los mantos de sargazo están constituidos por *Macrocyctis pyrifera* son estructurados por un conjunto de ramas denominadas *frondas*, sujetas a un órgano de fijación llamado *grampón* con el cual la planta se adhiere a un sustrato duro. Cada fronda consiste de un tallo llamado *estipe* y muchas láminas con apariencia de hojas. Uniendo la base de las hojas con el estipe se encuentra un órgano de flotación lleno de gas llamado *neumatocisto*, este mantiene la posición vertical de las frondas en la columna de agua (North, 1971; Stewart, 1991) (fig. 3).

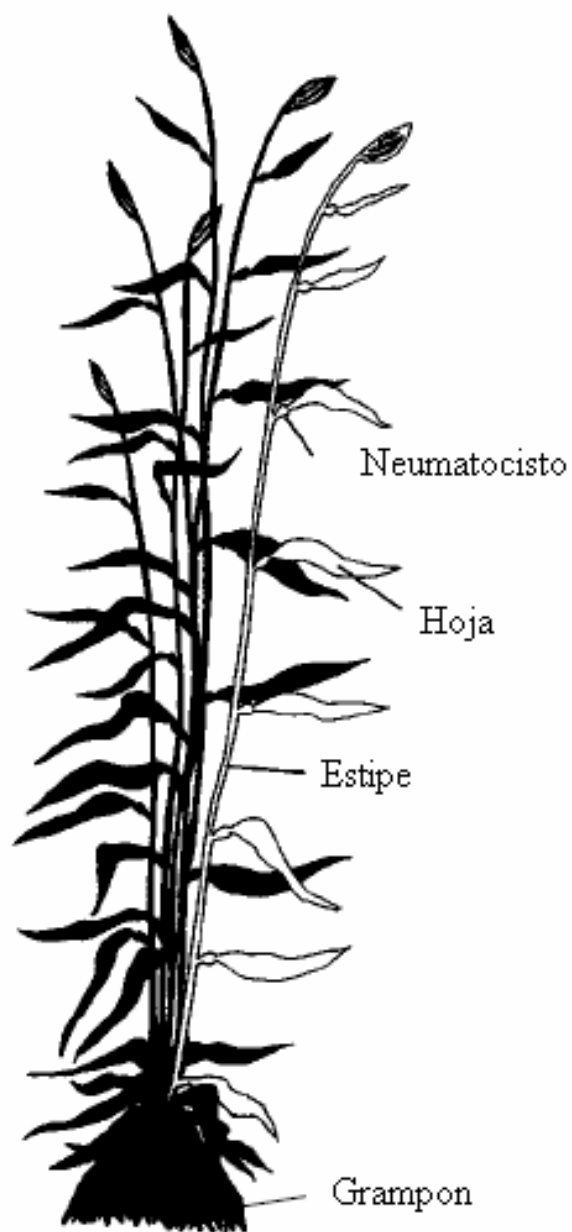


Figura 4. Representación de una planta adulta de *Macrocystis pyrifera* tomada de Utter y Denny (1996).

I.1. Antecedentes

En el ambiente Submareal, los erizos del género *Strongylocentrotus* y *Macrocystis pyrifera* caracterizan la comunidad de sargazo gigante o mantos de macroalgas por sus fuertes interacciones entre productor primario y herbívoro (Estes *et al.*, 1982). El pastoreo selectivo de los erizos resulta en asociaciones dominadas por plantas con poca palatabilidad, pero el sobre-pastoreo resulta en una total limpieza de las macroalgas (Duggins, 1981). Dean *et al.* (1984) encontraron que los erizos pueden estar presentes en agregaciones móviles y estacionarias. En las agregaciones estacionarias, los erizos están subsistiendo principalmente de algas a la deriva y no tienen ningún efecto en el reclutamiento ni en la abundancia de plantas adultas. Por otro lado, los erizos que se encuentran en agregados móviles denominados frentes de erizos, se comen todo tipo de alga atacando principalmente el grampón o el primer estipe (Leighton, *et al.*, 1966) desprendiendo toda la planta y dejándola a la deriva.

El pastoreo por los erizos ha tenido un efecto devastador en las poblaciones de varios tipos de algas, particularmente en algas del orden Laminariales. Esta herbivoría ha sido estudiada en un amplio rango geográfico ya que determina la estructura final de muchas de las comunidades bentónicas (Lubchenco y Menge, 1978 en el Pacífico norte; Steneck, 1983 en el Atlántico norte; Duggins, 1980 en Alaska; Alcoverro y Mariani, 2002 en Kenia; Blanchette *et al.*, 2002 California).

Las comunidades de sargazo presentan características como parches de disturbio en mosaicos dominados por macroalgas o por erizos. Simenstad *et al.* (1978) definen dos

estados alternos para la comunidad de los mantos de sargazo de la siguiente manera: 1) donde el manto es saludable con plantas adultas de *Macrocystis pyrifera* y los erizos, el principal depredador, se encuentran escondidos en grietas o cuevas, alimentándose pasivamente de algas a la deriva y 2) donde los erizos salen de sus refugios alimentándose directamente de las plantas y de algas coralinas, derivando en un desierto de erizos. Entonces, si en un determinado hábitat ocurren más de un tipo de comunidades distintivas y persistentes se les conceptualiza como estados estables alternos de la comunidad (Connell y Sousa, 1983; Schiebling *et al.*, 1999; Bertness *et al.* 2002; Shurin *et al.*, 2004). Se ha sugerido que estos estados juegan un papel muy importante en la estructuración de comunidades tanto marinas como terrestres (Bertness *et al.*, 2002). El cambio entre estos dos estados puede ser rápido y generalmente está asociado a disturbios.

Las tormentas catastróficas (Dayton y Tegner, 1984), efectos antropogénicos (Hartvig *et al.*, 1998; Schroeter *et al.*, 1993; Tegner *et al.*, 1995), eventos como el ENSO (Dayton y Tegner, 1984) o hasta enfermedades densamente dependientes (Lafferty y Kushner, 2002) favorecen la ocurrencia de mortalidades masivas de organismos y la consecuente facilitación a otros individuos para utilizar el sustrato abandonado, influyendo en la transición de un estado alterno a otro en la comunidad de los mantos de sargazo. De esta forma, los componentes poblacionales de los mantos de sargazo existen a lo largo de gradientes que tienen una gran influencia en la organización ecológica de la mayoría de las comunidades marinas (Dayton *et al.*, 1999).

Las características poblacionales del erizo (como principal herbívoro dentro de los mantos de sargazo) responden a variaciones en los gradientes latitudinales, por ejemplo, la riqueza

de especies (Rohde, 1992), el porcentaje de cobertura de invertebrados (Connolly y Roughgarden, 1998), la distribución de frecuencia de tallas (Kaustuv y Martien., 2000), producción gonadal (McBride *et al.*, 1997), y hasta la variación en las tasas evolutivas (Bromham y Cardillo, 2003), cambian con respecto a condiciones oceanográficas o factores físicos del hábitat. Estos factores pueden ser: temperatura, energía del oleaje, salinidad, topografía, tipo de sustrato y contaminación (Sanderson 1997). La variación espacio-temporal y latitudinal de las poblaciones de erizo en el borde de los mantos de *M. pyrifera*, pueden ayudar a entender el proceso de cambio de un estado a otro dentro de estas comunidades.

La comunidad de sargazo gigante se encuentra limitada y en una dinámica entre sus dos estados alternos, en un juego complejo entre condiciones físicas y biológicas (Hernández-Carmona *et al.*, 1991). Así bien, los estados alternos no solo están determinados por el comportamiento de alimentación de los erizos, ni en la variación de las poblaciones a distintas condiciones ambientales, pero si juegan un papel clave en el proceso.

Estos dos estados (desierto-manto) pueden coincidir en tiempo pero es difícil que compartan el espacio a pesar de ocupar sustratos con las mismas características, los límites entre un área dominada por sargazo y una dominada por erizos se encuentran bien diferenciados. Los desiertos de erizos ocurren frecuentemente adyacentes a áreas sin pastorear, caracterizadas por una gran abundancia de plantas maduras de sargazo o alguna otra alga (Harrold y Reed, 1985). Los erizos se pueden encontrar dentro de un manto (generalmente en densidades bajas), pero es muy difícil que una planta de *M. pyrifera* sobreviva dentro de un desierto de erizos, debido al estado activo destructivo en el que se

encuentran. Donde convergen estos dos estados, existe un umbral o borde donde se presenta la última planta del manto adyacente a un desierto de erizos, que es donde la herbivoría de los erizos y el reclutamiento de las plantas se encuentran en una constante competencia por espacio, llamado línea de alimentación (Leighton, 1960; Dean *et al.*, 1984; Ebeling *et al.*, 1985).

Mientras existan suficientes algas a la deriva (alimento disponible) los erizos se esconderán en depresiones, fisuras o grietas en las rocas como protección contra depredadores. Pero si no existen algas a la deriva estos serán obligados a buscar alimento agresiva-destructivamente, resultando en *frentes de erizos*. Este fenómeno fue inicialmente documentado por Leighton *et al.* (1960) quienes describieron cómo un frente avanza en dirección a un manto removiendo todas las plantas a su paso.

Ebeling *et al.* (1985) reportan que después de una tormenta el dosel de un manto de *Macrocystis* puede ser completamente removido. A pesar de que *Macrocystis* puede reclutarse en espacios abiertos después de un disturbio, oleadas de erizos pueden emerger de sus refugios (cuevas o grietas) pastoreando los nuevos reclutas de *Macrocystis* (debido a la falta de algas a la deriva). La comunidad puede permanecer en el estado de desierto de erizo hasta que ocurra otro disturbio que barra con todos los erizos. Consecuentemente los esporofitos de *Macrocystis* y las algas del sotobosque se pueden reclutar densamente y formar nuevamente un extenso dosel. Los erizos se pueden asentar en grandes números, pero es muy difícil que estos pequeños erizos puedan llegar a controlar la expansión de la población de macroalgas (Breitburg 1996). Una vez que el dosel de las plantas se restablece en la zona, los erizos regresan a su alimentación pasiva de algas a la deriva,

coexistiendo con las plantas maduras. Este proceso de alimentación no solamente demuestra cómo la fuerza y los efectos de las interacciones tróficas pueden ser modificados por disturbio, pero también que el mismo agente e intensidad del disturbio puede tener efectos dramáticamente diferentes dependiendo del estado de la comunidad.

Para entender la dinámica entre los estados del manto (desierto y sargazal) Pinnegar *et al.* (2000) proponen un modelo conceptual para dos estados alternos de una comunidad de algas en un ambiente submareal con sustrato rocoso. Incorporan un factor antropogénico muy importante para este sistema como es la pesquería (Fig. 5). El primer sistema esta compuesto por algas erectas fijas al fondo y el segundo esta cubierto por algas coralinas. La abundancia de los erizos conduce a un pastoreo destructivo influenciando el paso de un estado (manto) a otro (desierto) de la comunidad. La alta densidad de erizo se puede mantener con la sobrepesca de su principal depredador (*Semicossyphus pulcher*: pez vieja) y la comunidad permanece en estado de desierto. En el caso de la no ocurrencia o disminución de la pesca de este depredador, una de las consecuencias puede ser que la densidad del erizo se vea reducida conduciendo a la recuperación del manto, siempre y cuando se mantenga el control de la pesquería. Sin embargo, al afectar la población del depredador de erizo provocaría el incremento de la densidad de erizo y consecuentemente un pastoreo destructivo y el cambio entre estados, como lo sugiere la figura 5.

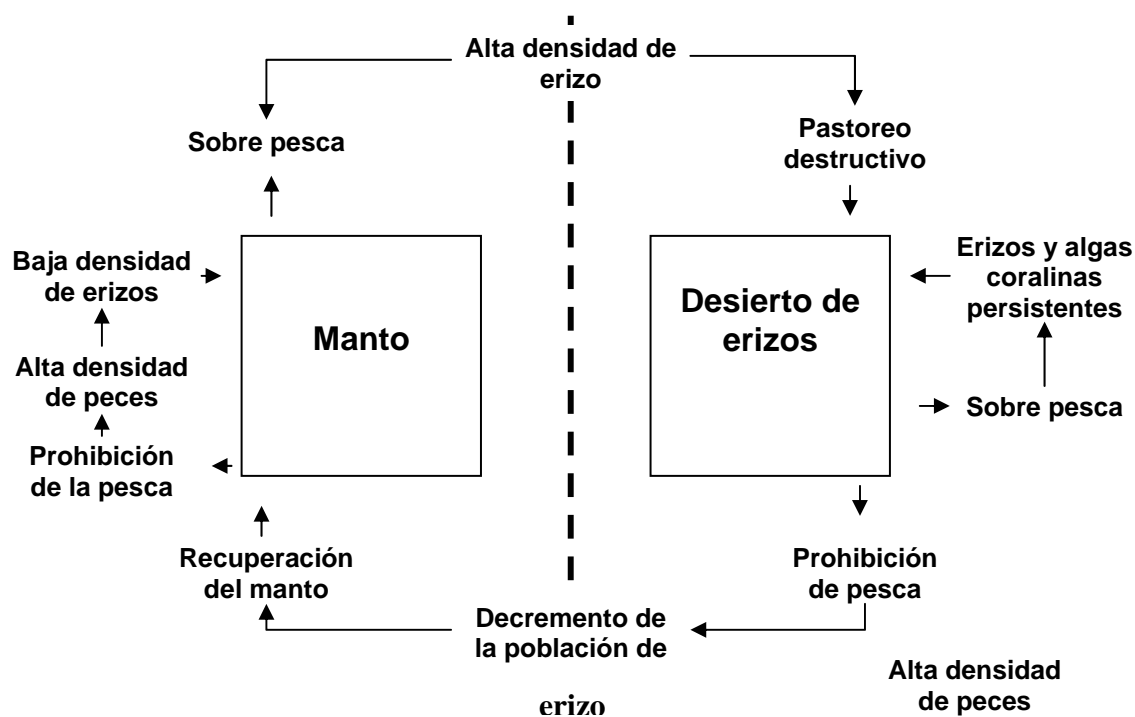


Figura 5. Modelo conceptual de los estados de la comunidad tomada de Pinnegar *et al.*, (2000).

Leighton *et al.* (1966) encontraron que cuando desaparece un manto, su recuperación depende de que haya concentraciones reducidas de: un individuo *S. franciscanus* (erizo rojo) por metro cuadrado; diez individuos *S. purpuratus* (erizo morado) por metro cuadrado; y diez individuos *Lytechinus anamensis* (erizo blanco) por metro cuadrado. Si las combinaciones de estas especies se presentan, la concentración de cada una debe de ser menor que las que figuran antes de que las plantas aparezcan. Sala y Graham (2002) estudiaron la fuerza de la interacción entre los herbívoros y las algas en los mantos de *Macrocystis* del sur de California; estos autores muestran que *S. purpuratus* es una de las 3 especies, junto con *S. franciscanus* y *L. anamensis*, que presentaron mayor fuerza de

interacción *per cápita* con esporofitos microscópicos de *Macrocystis*. Aún así, concluyen que el impacto que los herbívoros pueden llegar a tener en el manto no solo depende de la fuerza de interacción, si no también de la densidad y la biomasa de la especie y que 1 kg de *S. purpuratus* por m² va a tener el doble de impacto en la supervivencia de los esporofitos microscópicos de *Macrocystis* (remueven 24.8% de la abundancia por m² por día) que un kg de *S. franciscanus* en la misma área (11.8%).

I.2. Justificación

Los mantos de sargazo mantienen varios de los productos económicamente importantes para la Baja California. *M. pyrifera* es explotada para obtener alginatos cuya propiedad más importante es su capacidad de formar soluciones viscosas en agua, utilizado en industrias alimentarias, farmacéuticas, cosmetológicas, textiles, hulera, dentales, medicas, papeleras y agronómicas (Hernández- Carmona *et al.*, 1991). Además, los mantos han sido, en las últimas décadas, zonas de explotación para la pesquería de erizo y abulón en Baja California (Ramírez-Félix, 2000).

A pesar de que existen varios estudios ecológicos sobre la dinámica entre los estados alternos de la comunidad de un manto de sargazo, no existe ninguno aplicado en costas mexicanas. En México, estas comunidades solamente se pueden encontrar en las costas del Pacífico de la Península de Baja California, desde la frontera con E.U.A. hasta Baja California Sur, cerca de Bahía Asunción. Los mantos de la parte norte se encuentran separados de los del sur por una discontinuidad en su distribución de 300 km en Bahía Vizcaíno (Ladah, 1999), dejando a las comunidades del sur aisladas en el límite de su distribución, que concuerda con la transición de las zonas biogeográficas Neártica y Neotropical (Brown y Gibson, 1983). La variación de la temperatura del agua es el factor físico con mayor influencia en la distribución de estas comunidades (Ladah *et al.*, 1999).

La pesquería de *S. purpuratus* es aproximadamente 20 años más joven en comparación con la de *S. franciscanus*, sin embargo, a pesar del esfuerzo del Instituto Nacional de Pesca, ninguna de las dos está técnicamente bien fundamentadas (Palleiro *et al.*, 2004). Para la

captura de *S. franciscanus* existen algunas regulaciones como la talla mínima de captura, repartición de las zonas de pesca, control del esfuerzo pesquero y vedas, pero la pesquería de *S. purpuratus* no se encuentra reglamentada (Vélez, 1997, Palleiro *et al.*, 2004). En la temporada de pesca 2002 y 2003 se extrajeron 200 t de erizo morado (Salgado – Rogel *et al* 2004) entrando en el contexto económico necesario para México. Por lo tanto es indispensable contribuir al conocimiento ecológico de esta especie.

La obtención de resultados de un estudio poblacional de un recurso sujeto a una joven pesquería, en dos latitudes: norte y sur (con pesca y sin pesca), en diferente tiempo: invierno (tormentas y pocos nutrientes) y primavera (agua fría, rica en nutrientes y oleaje pobre) nos provee de herramientas para identificar cómo varían las características poblacionales del *S. purpuratus* en relación con los mantos de *M. pyrifera* y la dinámica entre los dos estados alternos de la comunidad.

Un estudio como este nos permite asentar parte del conocimiento básico, requerido para una adecuada explotación y entendimiento de los sistemas naturales. Genera conocimiento que posteriormente puede ser incorporado a estrategias de manejo de recursos naturales como la dirección de pesquerías sustentables de mínimo impacto para los ecosistemas. Aunado a esto, el presente estudio esta dirigido a los bordes donde convergen los dos estados alternos de la comunidad, que es a donde esta dirigido el esfuerzo pesquero.

II. Hipótesis.

Las características poblacionales del erizo morado (densidad, talla e índice gonadal) en el borde de los mantos de sargazo, presentan variaciones en la Península de Baja California debido al efecto de los mantos, a las variaciones en la temperatura y a las zonas de pesca y conservación.

III. Objetivos

IV.1. Objetivo General

Establecer las diferencias entre la variación espacial (latitudinal y en relación al borde entre los mantos de *Macrocystis* y desiertos de erizo) y temporal (invierno y primavera) de la estructura poblacional de erizo morado (densidad, tallas e índice gonadal) en relación a la capacidad de carga del manto, a la temperatura del agua y a las zonas de conservación.

IV.2. Objetivos Particulares

- Analizar las características poblacionales (densidad, talla e índice gonadal) del erizo morado en las localidades y zonas en dos temporadas.
- Calcular la capacidad de carga de los mantos de *M. pyrifera* (número de frondas m⁻²)
- Diferenciar las zonas de muestreo en base a las características de pesca y conservación, la temperatura del agua y la capacidad de carga del manto.

IV. Metodología

IV.1. Área de estudio

El muestreo se llevó a cabo en la península de Baja California. Cubriendo la distribución de *M. pyrifer* en la costa Mexicana hasta su límite sur de distribución (Ladah *et al.*, 1999) desde la Isla Todos Santos ubicada en 31°47'54.96" N y 116°47'52.8" O hasta Bahía Tortugas a 27°43'1.56" N y 114°59'52.08" O.

Se diseñó un muestreo submareal con equipo SCUBA. La selección de los mantos muestreados obedeció a la presencia de sustrato rocoso alrededor de los mantos, una profundidad máxima de ~18 metros y antecedentes previos de presencia de *S. purpuratus*.

Se seleccionaron 4 localidades para el análisis de las poblaciones de *S. purpuratus* en el ambiente submareal de la península de Baja California: en el norte 1) las Islas Todos Santos y 2) Campo Kennedy, y en el sur 3) Bahía Tortugas e 4) Isla Natividad (norte contra sur con dos réplicas). Los muestreos se realizaron en invierno (diciembre) del 2003 y primavera (marzo-abril) del 2004 (Fig. 6).

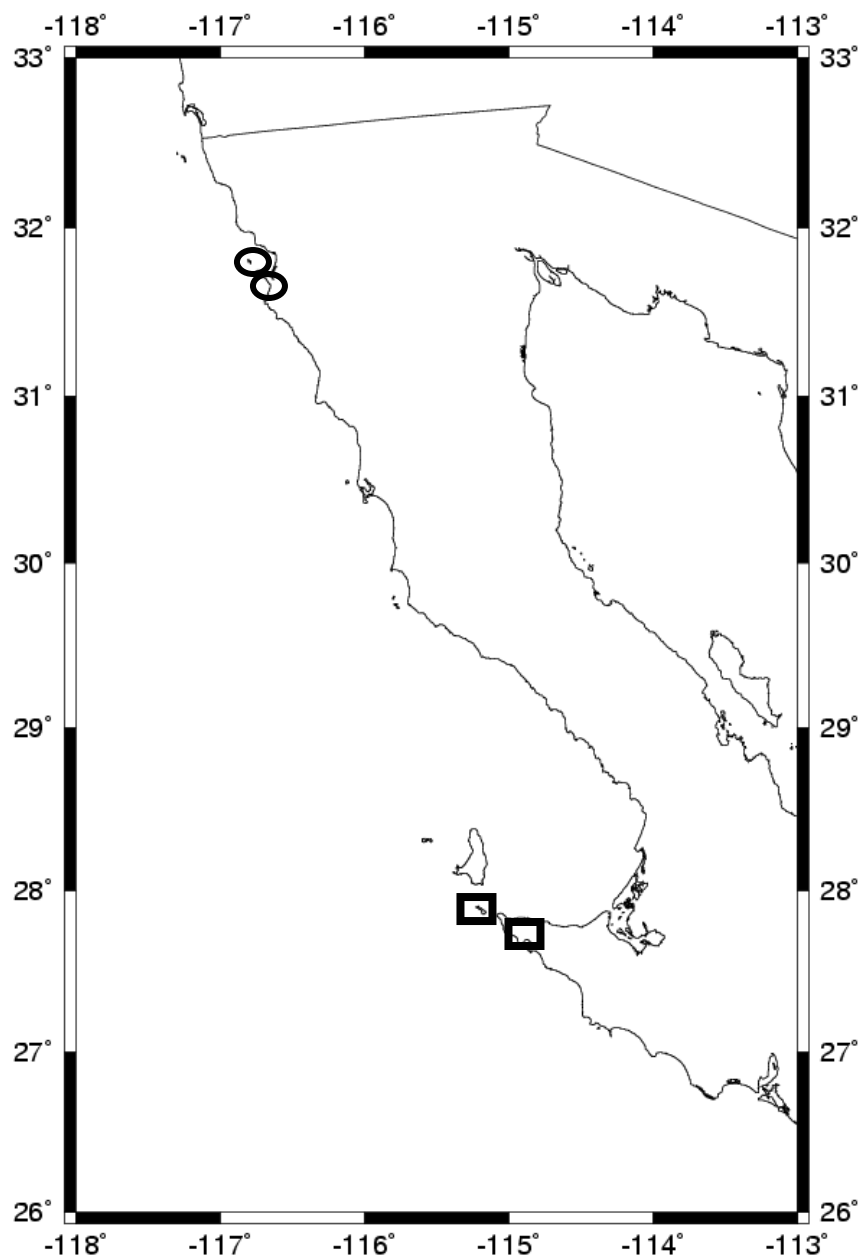


Figura 6. Distribución de los sitios de muestreo. Los cuadros rellenos muestran las localidades submareales del norte (Isla Todos Santos y Campo Kennedy), los cuadros sin relleno a las localidades submareales en el sur (Isla Natividad y Bahía Tortugas).

IV.2. Descripción de las localidades.

Las **Islas Todos Santos**, localizadas a $31^{\circ}47'54.96''$ N y $116^{\circ}47'52.8''$ O se encuentran dentro de la bahía Todos Santos alrededor de 20 kilómetros al oeste de Ensenada. El manto se encuentra en el sureste de la isla norte en el canal entre las dos islas, en una zona semi-protegida. La profundidad promedio de buceo fue de 10 metros encontrándose una topografía irregular, con sustrato principalmente rocoso pero con algunas zonas con parches de arena. La mayor parte del manto esta rodeada de desierto de erizo exceptuando las manchas arenosas en el fondo.

Campo Kennedy se localiza a $31^{\circ}43'39.36''$ N y $116^{\circ}43'39.36''$ W. Presenta una costa con acantilados lo que genera que la profundidad aumente abruptamente muy cerca de la costa. El fondo es rocoso con profundidades de 7 a 40 m (Ladah y Zertuche 2004).

Isla Natividad se localiza a $27^{\circ}52'7.68''$ N y $115^{\circ}9'43.2''$ O a 6.4 kilómetros al oeste de Punta Eugenia. En esta localidad se muestreó una zona de no-pesca al sur de la isla determinada por la sociedad cooperativa que opera en el lugar. Este sitio presenta mantos de sargazo desde la zona intermareal hasta una profundidad aproximada de 18 metros.

Bahía Tortugas se localiza a $27^{\circ}43'1.56''$ N y $114^{\circ}59'52.08''$ O siendo una bahía semi-cerrada desprotegida del oleaje del sur. El muestreo se llevó a cabo en una serie de rocas exhibidas en la superficie llamados "Los Morros". El sargazo esta presente desde la zona intermareal hasta alrededor de 15 metros (Ladah, 2000).

IV.3. Muestreo

Los muestreos se llevaron a cabo con la ayuda de equipo SCUBA intentando obtener datos de por los menos tres transectos de 30 metros de longitud por manto, donde la mitad del transecto quedó localizado dentro del manto y la mitad restante afuera a partir de la primera planta de *M. pyrifera*. Se colocaron 11 cuadrantes de 1m² de manera ordenada a lo largo de cada transecto, separados entre si por 3 metros de distancia (Fig. 7 y 8).

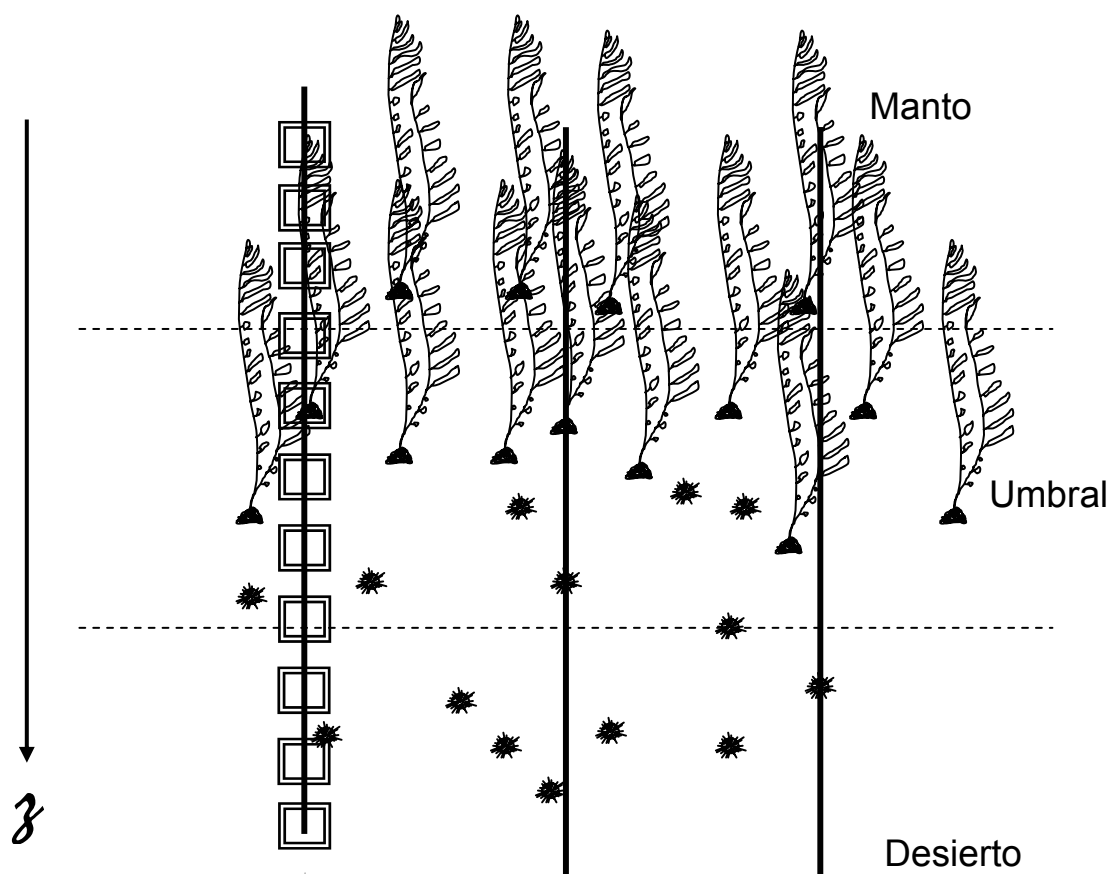


Figura 7. Arreglo de transectos y cuadrantes para muestreo de los mantos de *M. pyrifera* en el ambiente submareal.

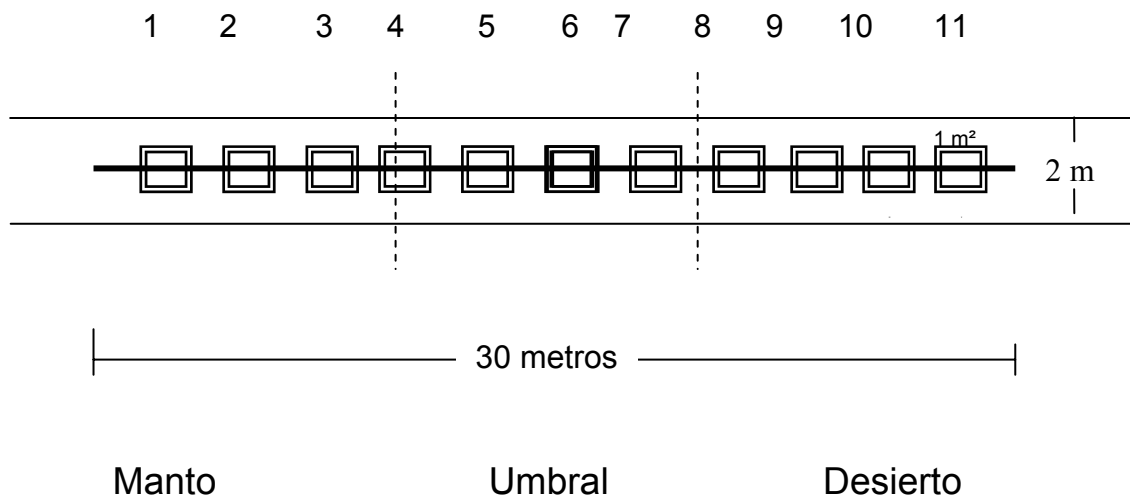


Figura 8. Detalle del arreglo de los cuadrantes a lo largo del transecto para diferenciar el borde del manto con el desierto de erizos.

Todos los erizos presentes en el cuadrante fueron depositados en bolsas de malla y llevados a la superficie. Solamente se registró el número de organismos cuando no se pudieron extraer debido a que se encontraban escondidos en grietas o cuevas. De los erizos extraídos se midió el diámetro de la testa con un vernier caliper de 0.5 milímetros y se les extrajo la gónada. Se obtuvo el peso de la gónada con una balanza electrónica de 0.1 gramos. Se utilizaron dos métodos para obtener el índice gonadal. El primero: el índice gonádico se calculó utilizando el peso del erizo de acuerdo con la siguiente fórmula (Shieibiling y Stephenson, 1984):

$$IG = \frac{pg * 100}{Pt} \quad (1)$$

Donde “pg” es el peso fresco de la gónada en gramos y “pt” es el peso fresco del organismo en gramos, para este trabajo le llamamos “Índice gonádico” (IG). El índice gonádico nos indica que porcentaje del peso total del organismo esta representando las gónadas. El segundo método, el índice gonadal se calculó utilizando el diámetro de la testa del erizo (Gonor, 1972) con la siguiente formula:

$$IG = \left(\frac{pg}{dt^3} \right) 100 \quad (2)$$

Donde “pg” es el peso de la gónada en gramos y “dt” el diámetro de la testa en milímetros, al cual le llamamos “Índice Gonadosomático” (GO). El índice gonadosomático se refiere a la proporción que ocupan las gónadas del volumen total del organismo.

Debido a mal tiempo y complicaciones con la logística encontramos imposible coleccionar datos de las características poblacionales de los erizos para todos los sitios en todos los tiempos. Los datos faltantes no se tomaron en cuenta para los análisis y se consideran como datos no disponibles.

Para medir las características poblacionales de los mantos se contó el número de plantas, número de frondas por planta y se midió la circunferencia del grampón para cada una de las plantas, En un área de 1 m de distancia a cada lado del transecto, muestreando así, plantas dentro de un área rectangular de un total de 30 m cuadrados. Para determinar la capacidad de carga del manto utilizamos las frondas por metro cuadrado. Para calcular la variación de la temperatura utilizamos un termógrafo (Storm away, TidbitT Temp Logger) colocado en cada uno de los sitios de muestreo a 1 metro sobre el fondo para registrar la temperatura del agua cada 5 minutos.

IV.4. Análisis estadístico.

Para el análisis de datos se utilizó el software de Microsoft EXCEL 2003 y STATISTICA en su versión 6.0. Para correr los análisis estadísticos paramétricos primeramente comprábamos homogeneidad de varianzas. Se utilizó la prueba de COCHRAN la cual hace un análisis de varianza de las desviaciones absolutas de los valores respecto a la media (Zar, 1984). Si el resultado de esta prueba es estadísticamente significativa (<0.05) se rechaza la hipótesis de que las varianzas son homogéneas. Si no se pudo comprobar homogeneidad de varianzas se transformaron los datos de densidad con la fórmula (Underwood 1997):

$$Td = \log_{10}(d + 1) \quad (3)$$

donde “d” es la densidad y “Td” el valor de la transformación de la densidad. Para transformar los datos de talla de los erizos se utilizó la fórmula (Underwood 1977):

$$Tt = \frac{t - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

donde “t” es la talla, “Tt” el valor de la transformación de la talla, “ σ ” la desviación estándar y “ μ ” la media. convocatoria

Cuando se comprobó que las varianzas eran homogéneas, se utilizó un modelo lineal de análisis de varianza anidado (Underwood, 1997). Se utilizaron tres rangos para el modelo: 1) localidades (Isla Todos Santos “ITS”, Campo Kennedy “CK”, Isla Natividad “IN” y Bahía Tortugas “BT”), 2) tiempo (invierno y primavera) y 3) zonas del 1 al 11 donde el 1

es lo más adentro del manto, 6 en el borde entre el manto y el desierto de erizo y 11 lo más alejado al manto:

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k(j) + \ell_{ijk} \quad (5)$$

donde “*i*” son las localidades (ITS, CK, IN, BT), “*j*” las estaciones (invierno y primavera) y “*k*” las zonas del 1 al 11, dentro o fuera del manto. “*X_{ijk}*” es cualquier réplica (*k*) en cualquier tiempo (*j*) en cualquiera de los sitios de muestreo (*i*) y μ es la media de todas las poblaciones muestreadas para este experimento.

Cuando no se obtuvieron suficientes replicas se utilizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) que sirve para probar si existen diferencias significativas entre las medias de dos grupos o variables (Zar, 1984). Si el resultado de esta prueba es estadísticamente significativo se rechaza la hipótesis nula de que los dos grupos o variables son iguales. Cuando se encontraron diferencias entre los tratamientos se utilizó la prueba *a posteriori* de Fisher LSD. Esta prueba es utilizada para determinar dónde se encuentran las diferencias significativas entre las medias de los tratamientos en el análisis de varianza y les asigna grupos para diferenciarlos entre sí. Para este trabajo la asignación de grupos para la prueba LSD se utilizaron letras en mayúsculas.

Si aun con las transformaciones no se pudo comprobar homogeneidad de varianzas se utilizaron los estadísticos no paramétricos U de Mann-Withney y Kruscal-Wallis. La U de Mann-Withney es la alternativa no-paramétrica de la prueba T para comparar dos muestras independientes, con la excepción de que esta está basada en la suma de los rangos y no en la de las medias al igual que la prueba de Kruscal-Wallis, siendo esta utilizada para comparar múltiples muestras independientes. Estas dos pruebas (U de Mann-Withney y

Kruskal-Wallis) valoran la hipótesis de que las diferentes muestras que se están comparando tienen la misma distribución o distribuciones con la misma media (Zar, 1984). Si el resultado que se calculó fue estadísticamente significativo se rechazó la hipótesis de que los tratamientos son homogéneos.

Se calculó el coeficiente de variación de las tallas de los erizos para compararlos entre las localidades, con la fórmula propuesta por Ebert y Russel (1988):

$$CV = \left(\frac{\sigma}{\mu} \right) 100 \quad (6)$$

donde “ σ ” es la desviación estándar y “ μ ” es el promedio del total de las tallas para cada localidad.

Para todas las graficas utilizamos estos símbolos para denotar:

■ Media ± Error estándar y ± Desviación estándar.

V. Resultados

V.1. Esfuerzo de colecta

Se obtuvieron datos de un total de 25 transectos con 245 cuadrantes para los cuatro sitios de muestreo submareal. Se contaron un total de 1,142 erizos, de los cuales 257 erizos fueron sacrificados para la obtención del peso de la gónada (tabla I).

Tabla I. Resultados del esfuerzo de colecta.

Localidad	Tiempo	n. transectos	n. cuadrantes	n. erizos	n. gónadas
ITS	invierno	3	30	304	-
ITS	primavera	3	33	539	140
CK	invierno	2	16	13	-
CK	primavera	3	33	183	86
IN	invierno	2	22	6	3
IN	primavera	3	33	16	5
BT	invierno	7	56	65	18
BT	primavera	2	22	16	-
Total		25	245	1142	255

V.2. Densidad de erizo

La densidad promedio del erizo morado para el ambiente submareal para todos los sitios analizados fue de 4.66 ± 0.64 organismos m^{-2} ($n = 245$). Para encontrar homogeneidad de varianzas para la densidad de erizos distribuida en las localidades y zonas en tiempo se

transformaron los datos con Log10 (densidad + 1) (Cochran = 0.092, p = 0.6). Se encontraron diferencias significativas en variación espacio temporal de la densidad de erizos, que se explicó principalmente entre las localidades y zonas muestreadas (40% de la varianza), utilizando una ANOVA anidada la densidad en tiempo y latitud (Tabla II).

Tabla II. Resultados de ANOVA anidada para la densidad de erizos. gl: grados de libertad; sc: suma de cuadrados; cm: cuadrados medios; F: estadístico de F; p: valor de significancia.

efectos	gl	sc	cm	F	p	% variación
tiempo	1	1.25	1.25	4.43	0.04	3
localidad	3	21.39	7.13	43.72	0.00	40
Zona (tiempo)	20	5.93	0.30	1.82	0.02	4
error	219	35.71				53
Total	243	64.30				100

La mayor concentración de erizos se encontró en las Islas Todos Santos (ITS) con un promedio de 13.38 ± 1.104 erizos m^{-2} , explicando el 40% de la variabilidad (n = 63) ANOVA no paramétrica de Kruskal- Wallis ($H_{3,145} = 76.97$, p= 0.00) (Fig. 9).

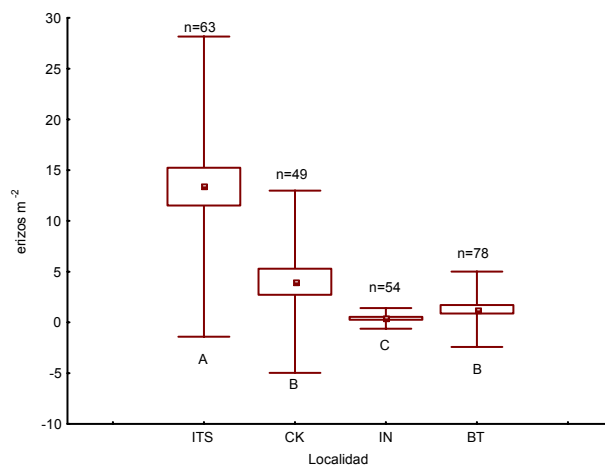


Figura 9. Distribución de la densidad del erizo en localidad (tiempo*Localidad). Las letras A, B, y C muestran los grupos asignados por la prueba LSD.

Con el 4% de la variación, la distribución de la densidad de erizos a lo largo de los transectos, desde la zona 1 (manto) hasta la zona 11 (desierto), presentó diferencias significativas en los tiempos muestreados. En la figura 10A (durante el invierno) se observó una ligera tendencia de los erizos a concentrarse cuando existían mayores densidades del manto, pero en primavera (Fig. 10B) las mayores concentraciones se encontraron en el desierto de erizos.

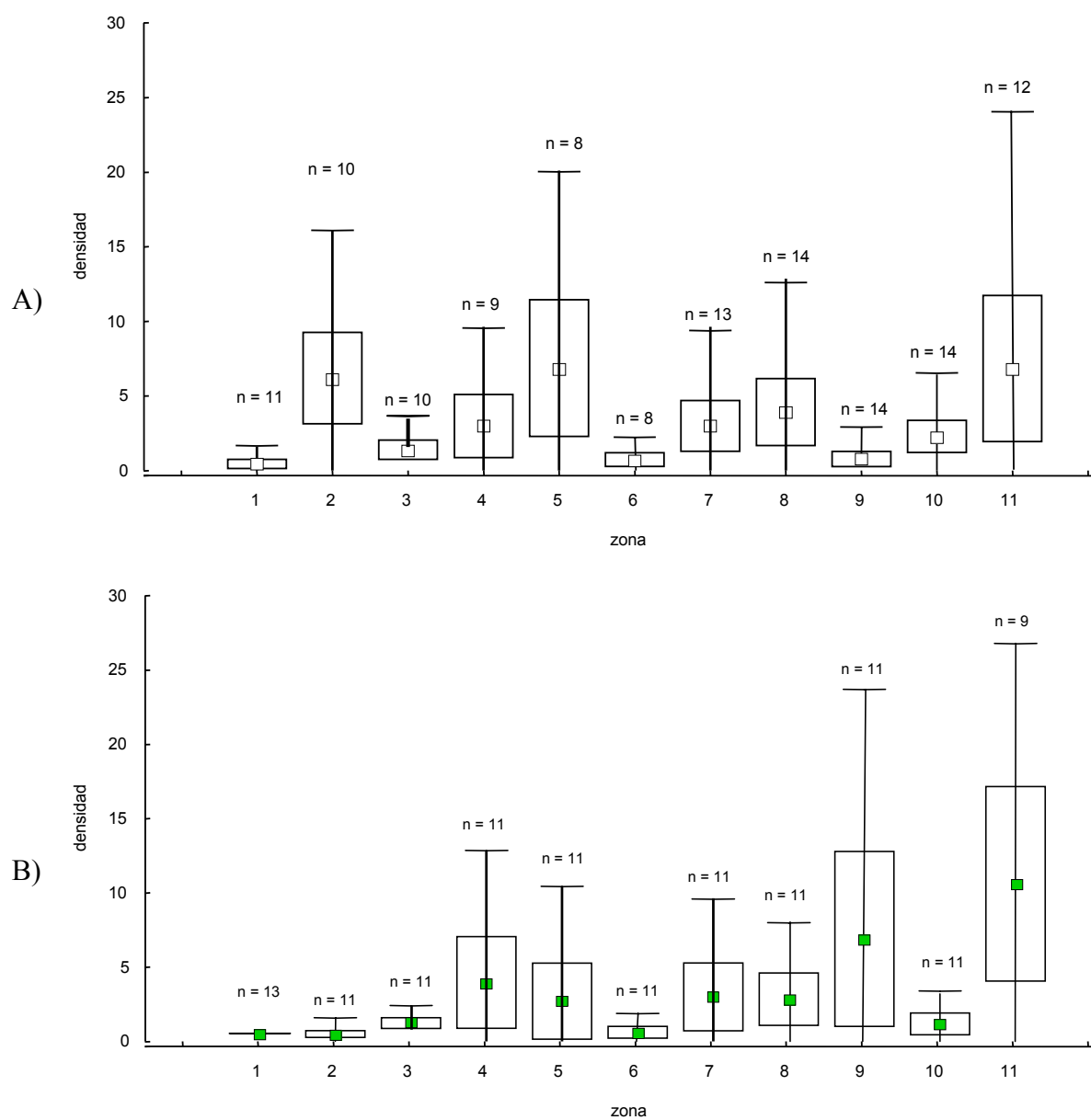


Figura 10. Distribución de la densidad de erizos en las zonas desde adentro del manto (1) hasta el desierto de erizos (11), en las dos temporadas de muestreo. A) representa la densidad en invierno y B) es la representación en primavera.

En primavera se observó una mayor densidad de erizos en comparación al invierno, explicando el 3.9% de la variabilidad de la densidad de los erizos.

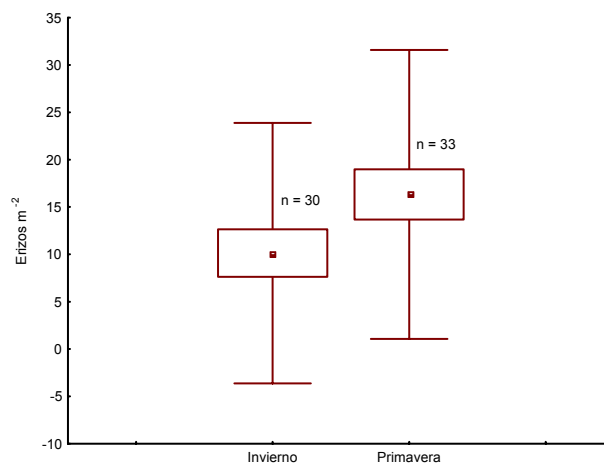


Figura 11. Distribución de la densidad de erizos en los tiempos de muestreo (invierno y primavera).

V.3. Talla de erizos

El diámetro promedio de la testa de los 653 erizos que se mieron fue de 46.53 ± 0.40 mm. Siendo 78 mm. la máxima talla alcanzada y 4.40 mm. la mínima. Para el total de los erizos medidos se obtuvo una estructura de tallas unimodal con las siguientes características (Fig. 12):

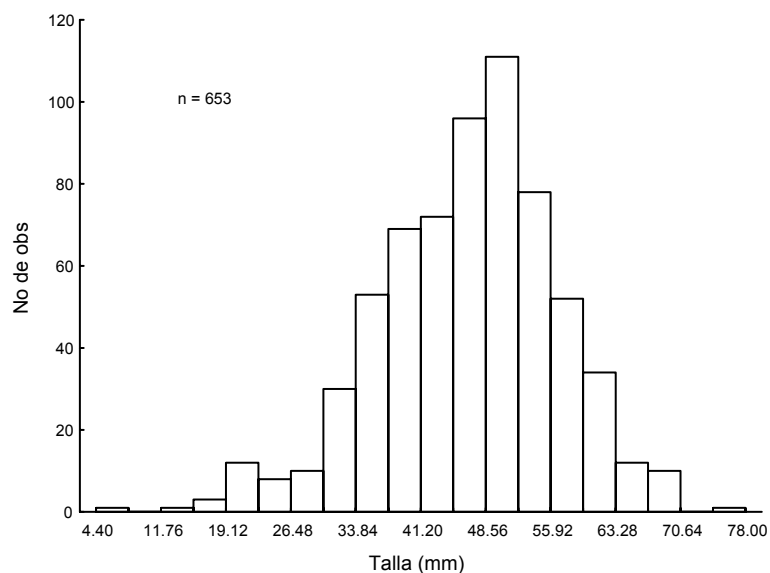


Figura 12. Distribución de tallas obtenida del total de los erizos morados en el ambiente submareal.

Para el análisis de la variación espacio temporal de la talla de los erizos, los datos se transformaron dividiendo la talla del erizo menos la media entre la desviación estándar del total de los datos del muestreo, comprobando homogeneidad de varianzas (Cochran = 0.34, $p = 0.42$). La talla de erizos fue significativamente diferente entre las localidades y entre las zonas anidadas en tiempo. Siendo la variación entre las localidades la que contribuyó mayormente a la varianza con un 15% y la zona en el tiempo con el 2% (Tabla. III).

Tabla III. Resultados de ANOVA anidada para la talla de erizo. gl: grados de libertad; sc: suma de cuadrados; cm: cuadrados medios; F: estadístico de F; p: valor de significancia.

Efectos	gl	sc	cm	F	p	Variación %
Tiempo	1	351.46	351.00	3.53	0.06	4
Localidad	3	3499.84	1166.61	13.44	0.00	15
Zona (tiempo)	20	3007.31	150.37	1.73	0.02	2
Error	628	5453.31	86.83			79
Total	652	61390.27	80.98			100

El 15% de la variación fue dado por la talla de erizos morados, la cual presentó diferencias significativas entre las localidades muestreadas (ANOVA $p < 0.5$, $F_{3,643} = 25.062$; $C = 0.3274$ $p > 0.5$). La prueba estadística a posteriori LSD mostró que los erizos de Bahía Tortugas fueron significativamente más grandes (55.95 ± 1.82 mm) que los de Isla Natividad (47.4 ± 2.77 mm) y Campo Kennedy (49.46 ± 0.54) mientras que los más pequeños fueron los de las Islas Todos Santos (43.42 ± 0.52 mm) (Fig. 13).

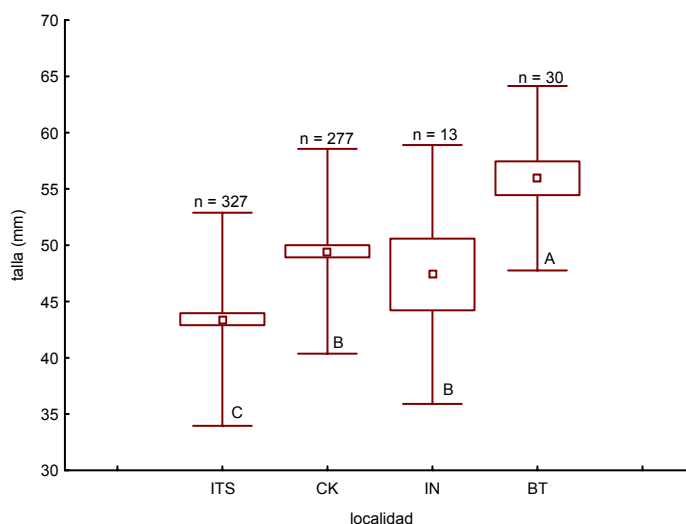


Fig. 13. Distribución de las tallas en los sitios de muestreo. Las letras muestran los grupos asignados por la prueba LSD.

Las estadísticas descriptivas mostraron que solamente Campo Kennedy presentó una distribución unimodal, con erizos de 52.7 mm de diámetro de la testa. El resto de los sitios muestreados presentaron distribuciones con múltiples modas. Se encontraron coeficientes de variación pequeños donde se presentaron las mayores tallas (tabla IV).

Tabla IV Distribución de tallas por localidad. L: localidad; N: número de muestras; CV: coeficiente de variación.

L	N	μ	Moda	mínimo	máximo	δ	Error estándar	CV (%)
ITS	327	43.42538	Múltiple	12.70000	65.50000	9.46858	0.523613	21.8
CK	277	49.46137	52.70000	18.00000	78.00000	9.08759	0.546020	18.37
IN	13	47.40000	Múltiple	20.20000	65.00000	11.49116	3.187073	24.24
BT	30	55.95000	Múltiple	27.00000	70.00000	8.19461	1.496123	14.65

Bahía Tortugas presentó las mayores tallas de erizo tanto en invierno como en primavera (Invierno, ANOVA $p < 0.05$, $F_{2,161} = 4.0008$ $C=0.4233$, $p > 0.0$ y primavera ANOVA $p < 0.05$, $F_{3,480} = 10.918$, $C = 0.3344$, $p > 0.05$) que el resto de las localidades. Los datos de talla de erizos para las Islas Todos Santos en invierno no están disponibles (Fig. 14 y 15).

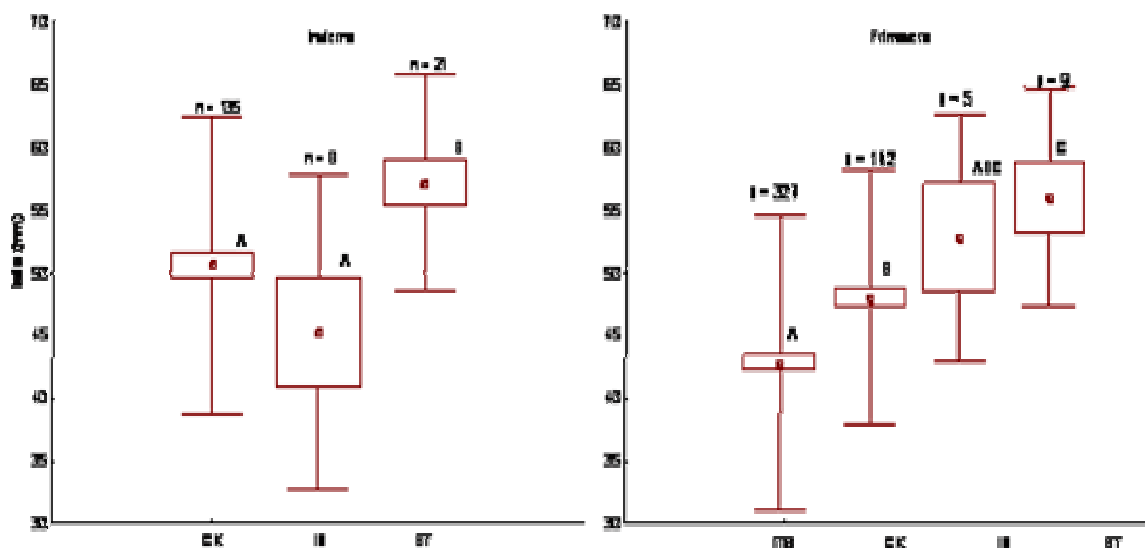


Figura 14. Estructura de tallas de erizo por localidades en tiempo de muestreo. A, B y C muestran los grupos asignados por la prueba LSD.

Explicando el 2% de la variación, se encontraron diferencias significativas entre las zonas para la temporada de invierno. Debido a que los datos no presentaron homogeneidad de varianza, se analizaron con el estadístico no-paramétrico de Kruskal-Wallis (Tabla V).

Tabla V. Resultados Kruskal- Wallis para comparación de la talla de erizos en zonas entre los tiempos de muestreo

tiempo	H	gl	n	p
invierno	19.21	9	244	0.02
primavera	7.57	10	327	0.15

Se obtuvo una distribución homogénea de tallas a lo largo de las zonas, desde adentro del manto (zona 1) hasta el desierto de erizos (zona 11) para la temporada de invierno. En el invierno las tallas de los erizos se encontraron distribuidas heterogéneamente, encontrándose erizos de todos los tamaños tanto fuera como dentro del manto (Fig15).

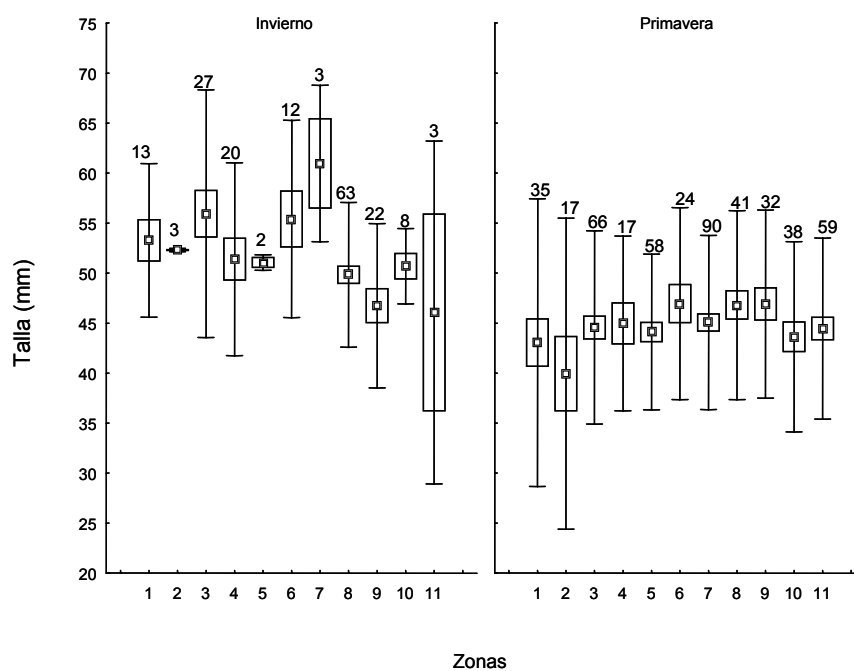


Figura 15. Distribución de tallas de erizo entre las zonas en las dos temporadas de muestreo. Los números representan las zonas en un rango de 1 el más adentro del manto, la zona 6 el borde y la zona 11 la más alejada del manto.

V.4. Índice Gonadal de erizo

Se obtuvieron datos del índice gonádico basado en peso de 243 individuos, en comparación con los 255 datos que se obtuvieron para el índice gonadosomático basado en el diámetro de la testa; debido a que no se pudo documentar el peso de 12 individuos. A pesar de esto, los datos de índice gonádico presentaron homogeneidad de varianza, la cual no se pudo obtener para los datos de índice gonadosomático. Por tanto, se utilizó el índice gonádico para el análisis estadístico. La tabla VI muestra las estadísticas descriptivas para los dos modelos utilizados.

Tabla VI. Estadísticas descriptivas de los métodos para calcular el índice gonadal.

Método	n	μ	δ^2	δ	Error estándar
GO	255	0.01	0.00	0.00	0.00
IG	243	25.76	163.67	12.79	0.82

Debido a que algunos erizos no pudieron ser extraídos por estar escondidos en grietas o cuevas, no fue posible extraer suficientes gónadas para analizarlas con el modelo lineal de ANOVA anidada, por tanto, se utilizó un análisis de varianza de una vía para realizar comparaciones entre las localidades y en tiempos. Solamente se pudieron extraer gónadas de las Islas Todos Santos y Campo Kennedy en la primavera. En Isla Natividad se colectaron datos en los dos tiempos muestreados pero en Bahía Tortugas se colectaron gónadas de invierno únicamente (Tabla VII).

Tabla VII. Descripción del índice gonádico para las localidades muestreadas

Localidad	n	μ	δ	Error estandar
ITS	137	28.18	15.17	1.30
CK	86	23.91	7.22	0.78
IN	11	20.04	9.96	3.00
BT	9	13.78	4.49	1.50

Se encontraron diferencias significativas del índice gonadal para las localidades en tiempo, comprobando homogeneidad de varianza con $C = 6373$, $p = 0.18$ (ANOVA $p < 0.00$, $F_{1, 242} = 502.17$). Para los índices gonadales de Isla Natividad y Bahía Tortugas no se encontraron diferencias significativas en invierno (ANOVA $p = 0.30$, $F_{1,14} = 1.15$, $C = 0.7$, $p = 0.26$. En primavera en las islas Todos Santos se encontraron mayores índices gonádicos que en Campo Kennedy e Isla Natividad. (ANOVA $p < 0.05$, $F_{3, 225} = 12.358$; $C = 0.3121$ $p > 0.05$) (Fig. 16).

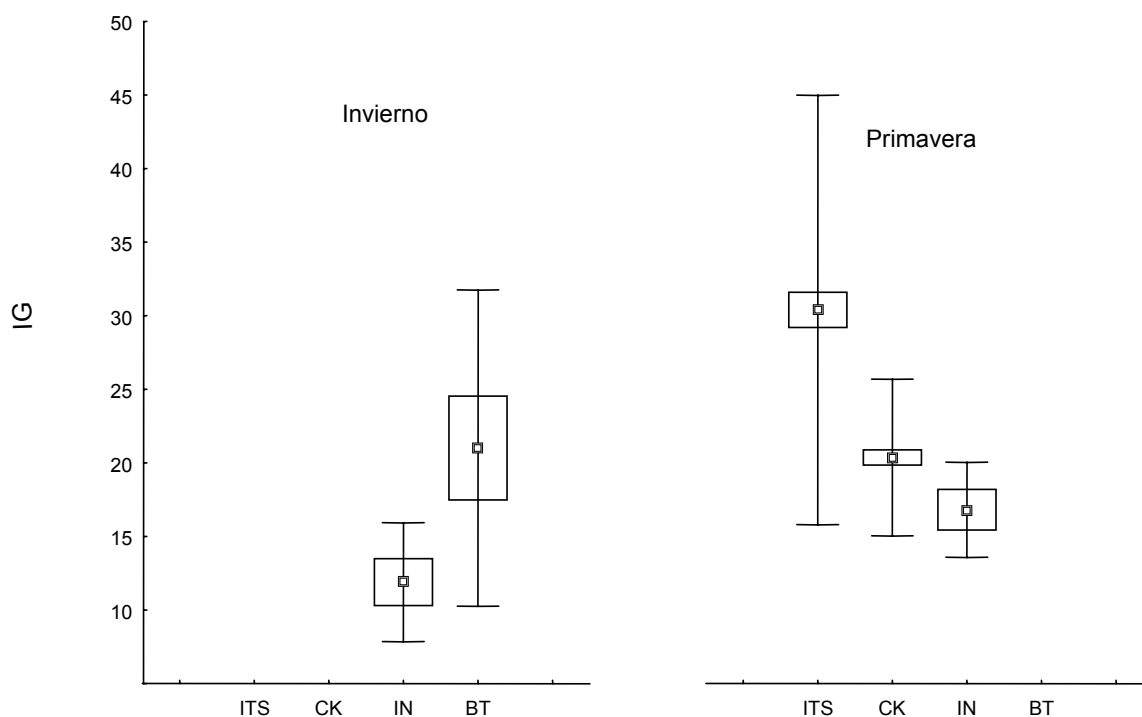


Figura 16. Distribución del índice gonádico en las localidades para las dos temporadas de muestreo.

Se encontraron diferencias significativas en el índice gonádico a lo largo del transecto, desde la zona centro del manto (1) hasta el desierto de erizos (11) (ANOVA, $p < 0.05$ $F_{10,212} = 4.256$, Cochran = 0.1681, $p > 0.05$). A pesar de las diferencias encontradas, es muy difícil diferenciar un patrón claro. Las zonas tanto dentro del manto como en el desierto de erizos presentaron índices gonadales altos y bajos sin mostrar una tendencia (Fig. 17).

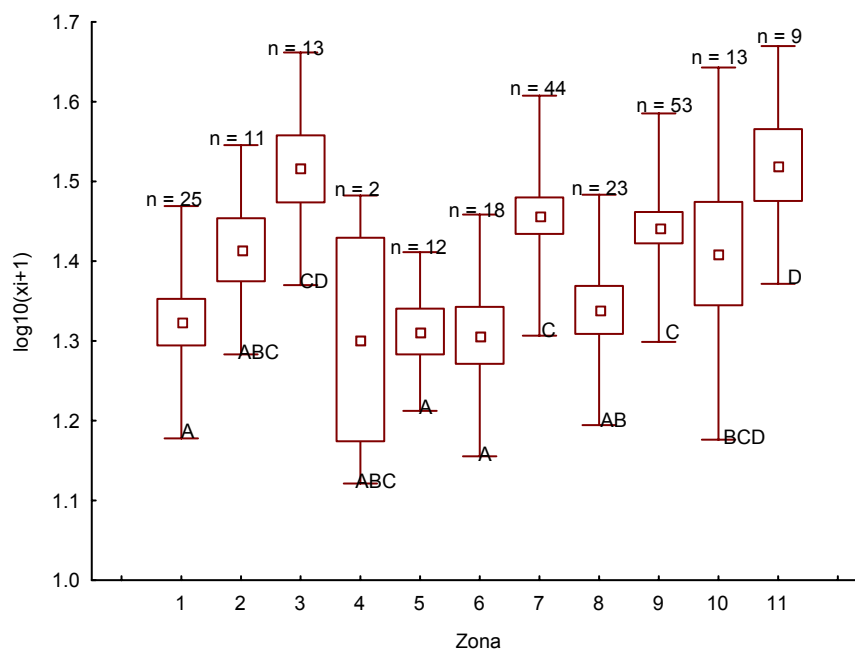


Figura 17. Comparación del Índice Gonádico entre las zonas de muestreo. 1 es dentro del manto, 6 en el borde y 11 el desierto de erizos. Las letras indican los grupos asignados por la prueba LSD.

V.5. Mantos

Un total de 4303 frondas para 365 plantas de *M. pyrifera* fueron contadas en un área total de 660 m² para determinar el estado de los mantos. Los resultados fueron los siguientes (Tabla VIII):

Tabla VIII. Resultados del esfuerzo de colecta para los mantos de macroalgas.

Localidad	tiempo	transectos	m ²	plantas	frondas	diametro del grampon	Plantas m ⁻²	frondas ⁻²	
ITS	invierno	3	90	47	641	25.65	0.52	7.12	
ITS	Primavera	3	90	102	978	15.54	1.13	10.87	
CK	invierno	2	60	40	285	20.05	0.67	4.75	
CK	Primavera	3	90	51	1031	69.27	0.57	11.46	
IN	invierno	2	60	20	227	75.35	0.33	3.78	
IN	Primavera	3	90	49	495	18.82	0.54	5.50	
BT	Invierno	4	120	40	292	43.35	0.33	2.43	
BT	Primavera	2	60	16	354	67.25	0.27	5.90	
total		22	660	365	4303				
						μ	41.91	0.55	6.48

La densidad de plantas fue homogénea entre todas las localidades muestreadas. ANOVA ($p > 0.05$, $F_{3,17} = 2.6191$) (Cochran = 0.4669, $p > 0.1116$) (Fig. 18).

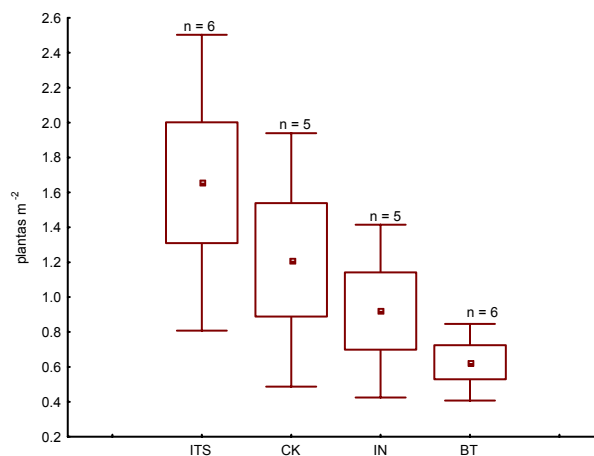


Figura 18. Comparación de la densidad de plantas entre las localidades muestreadas

Para el análisis de número de frondas por planta no se pudo comprobar homogeneidad de varianza por lo que se utilizó el estadístico no paramétrico de Kruskal-Wallis. Se encontró el mayor número de frondas por planta en Bahía Tortugas. Campo Kennedy e Isla Natividad presentaron el mismo número de frondas por planta y las Islas Todos Santos el menor número de frondas por planta ($H_{3, 366} = 44.29$, (Fig. 18 $p < 0.05$) (Fig. 19).

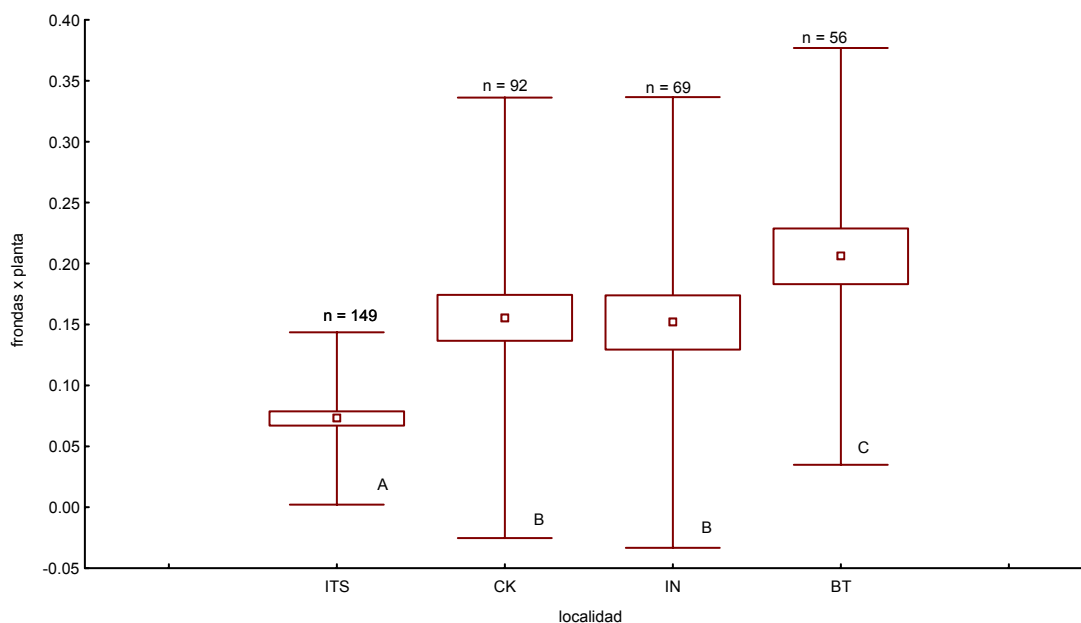


Figura 19. Comparación del número de frondas por planta para las localidades muestreadas. Las letras indican los grupos asignados por la prueba LSD.

La densidad de frondas m^{-2} o capacidad de carga del manto en la Isla Todos Santos (17.98 ± 2.37 frondas m^{-2}) y Campo Kennedy (17.54 ± 2.6 frondas m^{-2}) fue significativamente mayor que en la Isla Natividad (9.62 ± 2.6 frondas m^{-2}) y Bahía Tortugas (7.17 ± 2.37 frondas m^{-2}), (ANOVA $p = 0.0103$, $F_{3,18} = 5.04$) ($C = 5118$, $p = 4937$) (Fig. 20).

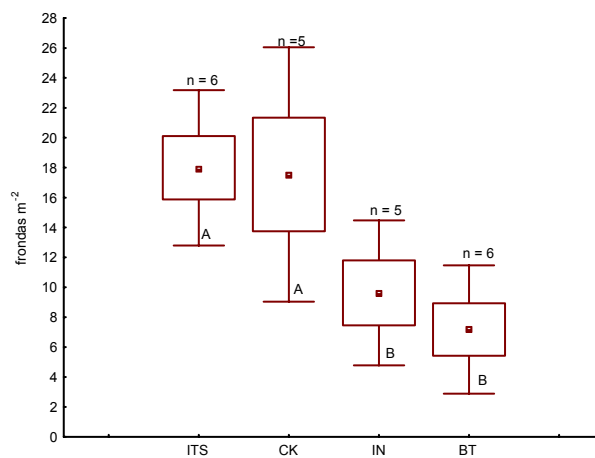


Figura 20. Comparación de la densidad de frondas entre las localidades muestreadas. Las letras muestran los grupos asignados por la prueba LSD.

V.6. Temperatura

Se obtuvieron datos de temperatura de cada 5 minutos durante 40 días. Desde el 29 de Enero hasta el 6 de Febrero del 2004. Solamente se pudieron recuperar los termógrafos de las Islas Todos Santos, Isla Natividad y de Bahía Tortugas. La máxima temperatura fue registrada en Bahía Tortugas, pero el promedio mas alto se encontró en Isla Natividad (Tabla IX).

Tabla IX. Estadísticas descriptivas de la temperatura de fondo colectada para cada localidad cada 5 minutos desde el 29 de enero al 6 de Febrero del 2004. Z: Profundidad y ES: error estándar.

Localidad	Z (metros)	n	μ	moda	mínima	maxima	δ	ES
ITS	11.45	11520	13.1	12.63	10.46	16.87	1.36	0.014
IN	16.9	11520	15.8	16.18	12.88	17.77	0.9	0.009
BT	14.2	11520	15.1	15.94	11.89	20.11	1.15	0.012

Las series de tiempo de la temperatura muestran la similitud de la variación de la temperatura de fondo en las localidades muestreadas (Fig. 21). Las Islas Todos Santos presentaron la más alta variación de temperatura, pero la temperatura promedio más baja del resto de las localidades. La Isla Natividad representó la localidad con temperaturas más homogéneas en el tiempo de muestreo, aun así mostró los dos posibles eventos de surgencia que claramente se muestran en el resto de las localidades.

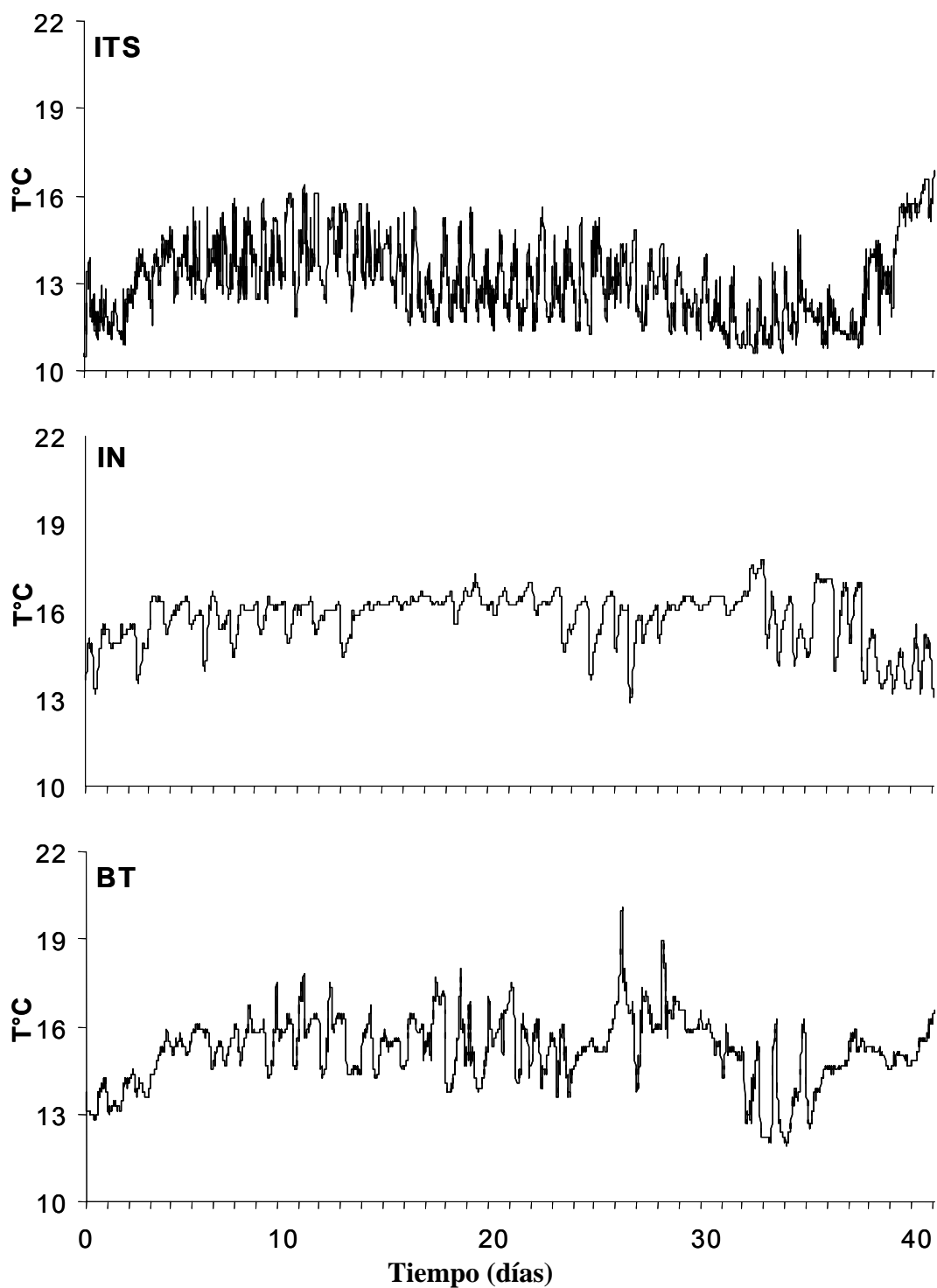


Figura 21. Series de tiempo de la temperatura de fondo en las localidades muestreadas. ITS: Islas Todos Santos, IN: Isla Natividad y BT: Bahía Tortugas.

V.6. Áreas de pesca y conservación.

Se encontró que ninguna localidad tomada en cuenta para este trabajo, esta sujeta a una directa presión pesquera del erizo morado. Las localidades del norte (Islas Todos Santos y Campo Kennedy) están sujetas a la explotación de erizo rojo, langosta y escama, por tanto, se definieron como zonas de pesca. En las localidades sureñas (Isla Natividad y Bahía Tortugas) no se extrae ninguno de los dos erizos de importancia económica para la Península, la pesca de langosta esta restringida a zonas en sitios destinados para la siembra de abulón y la pesca de escama se lleva a cabo de forma artesanal. Por lo tanto, las localidades del sur se definieron como zonas de no-pesca o conservación.

VI. Discusión

Desde la década de los 60's ya se reportaban crecimientos explosivos en las poblaciones de erizo en las costas de California, llegando a una densidad de hasta 50 organismos m^{-2} (North y Pearse 1970), recientemente solo se han reportado hasta 16 erizos morados m^{-2} a 20 metros de profundidad (Salgado-Rogel *et al.*, 2002). En este estudio solamente la localidad de las Islas Todos Santos en primavera tuvo 16.33 ± 1.72 erizos m^{-2} . En el presente estudio la densidad promedio para todos los sitios de muestreo fue mucho menor con 4.76 erizos m^{-2} , debido a que las localidades del sur (cerca de su límite de distribución) presentan densidades considerablemente más bajas.

Se ha descrito que las mayores densidades de erizos se encuentran en los desiertos o frentes de erizos (Leighton, *et al.*, 1966; Cowen, *et al.*, 1982) y, a pesar de que nuestro muestreo esta dirigido solamente a los bordes entre un manto y un desierto, Gagnon *et al.* (2004) encontraron un marcado incremento en la densidad de erizo a partir del primer metro de distancia del borde entre los mantos y los desiertos de erizos. Tomando en cuenta que este estudio se extendió hasta 15 metros fuera del manto, la densidad de los erizos fue homogénea dentro, en el borde y en el desierto de erizos. Esta homogeneidad puede atribuirse a la disposición de algas a la deriva, suficiente para evitar que los erizos se agreguen en los conocidos frentes de erizos.

Durante los meses de invierno, las costas del Pacífico nororiental se ven afectadas por tormentas que varían en frecuencia e intensidad dependiendo de la fuerza de las condiciones de El Niño (Dayton *et al.* 1992). A pesar de que los erizos que no se encuentran resguardados en grietas o cuevas, expuestos al oleaje, pueden ser desprendidos

del fondo o dañados gravemente por la energía del oleaje (Lafferty y Kushner, 2002), ninguna de las localidades muestreadas presentó variación en la densidad de erizo entre invierno y primavera, mostrándonos que estas poblaciones son estables, al menos en la temporalidad de un año. De este modo, se podría especular que en los sitios muestreados para este trabajo el invierno 2003-2004 pudo haber sido poco agresivo.

Las localidades de las Islas Todos Santos y Campo Kennedy son dos de las trece principales zonas de explotación de erizo rojo en Baja California (Palleiro, 1982; Salgado-Rogel *et al.*, 2004). Estas zonas han sufrido excesiva presión de pesca de abulón (competidor de espacio y alimento de erizos), de langosta y de pez vieja (depredadores de erizos). Algunos reportes mencionan que esto favorece el aumento en la densidad y abundancia de los erizos (Ramírez-Félix, 2000). Se ha documentado que la densidad del erizo rojo ha presentado un decremento significativo, de 6.4 erizos m^{-2} a 0.8 erizos m^{-2} desde los años 80's hasta el 2002 debido a la pesquería (Salgado-Rogel *et al.*, 2004), lo que ha abierto un espacio para el incremento en la densidad del erizo morado en estas zonas (Ramírez-Félix, 2000). Por otro lado, no se ha reportado esfuerzo pesquero hacia ninguna de las especies de erizos en las zonas de Isla Natividad y Bahía Tortugas, posiblemente por no ser redituable la logística necesaria para la exportación del recurso. Aunado a esto, el manejo de la pesquería de abulón y langosta en esas zonas han sido exitosas, manteniendo sus poblaciones estables, lo que podría explicar la baja densidad de erizos debido a la presión de competencia.

Otra razón que explicaría las bajas densidades de erizos en Isla Natividad y Bahía Tortugas puede ser que estas zonas se encuentran en el límite sur de distribución de las especies de

erizos. La temperatura del agua como factor principal para diferenciar zonas biogeográficas marinas presentó variaciones intensas en esta zona durante el tiempo que se llevó a cabo este estudio, con temperaturas más bajas y con mayor variabilidad en las localidades del norte en comparación con las del sur. Por lo tanto, el estrés provocado por anomalías de la temperatura pueden estar influyendo en: la reproducción (Chu y Levin, 1989), el crecimiento y desarrollo larval (Hart y Scheibling, 1988), el asentamiento (Morgan *et al.*, 2000), la alimentación (Barker *et al.*, 1998), la movilidad (Mann *et al.*, 1984), la susceptibilidad a infecciones (Gregor, 2001); o hasta provocando mortalidades masivas de erizo por el aumento drástico de la temperatura (Tsuchiya, 1987). Esto no fue el caso en este periodo de estudio.

A pesar de ser organismos con distribución en la zona intermareal rocosa, por tanto, susceptibles a una fácil colecta y explotación, realmente existen muy pocos estudios publicados que describan la distribución de tallas de los erizos morados en esta región. Pérez y Calderón (1996) encontraron una variación de tallas de 44 mm hasta 81 mm de diámetro de la testa, con una media de 61.1 mm en machos y 63.5 en hembras. Siendo que en este estudio se obtuvo 78 mm la máxima talla alcanzada y 3.2 mm la mínima con una media de 46.2 ± 0.75 mm, la diferencia puede radicar en que Pérez y Calderón (1996) utilizaron únicamente erizos colectados en una planta de empaque, provenientes del intermareal hasta 5 metros de profundidad.

Bahía Tortugas (el sitio más sureño de muestreo para este estudio) presentó significativamente las mayores tallas (55.95 ± 1.82 mm) y el menor coeficiente de variación ($(\delta/\mu) 100$) de 14.65%. Ebert y Russell (1988) proponen que tallas grandes y coeficientes

de variación pequeños indican poco asentamiento larval y a su vez esta altamente correlacionado con las características topográficas asociadas a procesos oceanográficos, como las surgencias. Ninguna de las localidades presentó diferencias significativas entre invierno y primavera, reflejando una estructura estable en el tiempo en todas las localidades.

Se encontró que solamente dentro del manto las tallas de los erizos presentaron diferencias significativas en el tiempo. Las tallas en invierno fueron mayores, posiblemente debido a que las tormentas y oleajes de alta energía, característicos del invierno (Dayton *et al.*, 1992., Marchesiello *et al.*, 2003) provocaron la agregación de los erizos de mayor tamaño dentro del manto. Observaciones similares se han obtenido en las costas de Nueva Inglaterra, rastreando frentes agresivos de erizos verdes (*Strongylocentrotus droebachiensis*), encontrando tallas más grandes dentro de los mantos que en los desiertos de erizos (Gagnon *et al.*, 2003).

Para el resto de los análisis de zonas realizados, no se pudieron encontrar patrones claros en la distribución de tallas dentro, en el borde o fuera del manto. Puede ser que el transecto no fue lo suficientemente largo para obtener una buena definición de las zonas y/o que los cuadrantes se colocaron muy cerca unos con otros. Adicionalmente, las tallas obtenidas de los erizos del sur pueden ser poco representativas debido al número tan bajo de muestras que se colectó.

Se utilizó la medida del índice gonádico utilizado por Shieibiling y Stephenson (1984). Se calculó tomando el peso fresco de la gónada entre el peso fresco del cuerpo X 100, ya que de esta forma se obtuvo homogeneidad de varianza, a diferencia del índice gonadal que fue

calculado a partir del peso de la gónada entre el diámetro de la testa del erizo al cubo X 100. Este índice es utilizado para determinar la proporción de gónada dentro del organismo, siendo la gónada el reflejo de su alimentación y capacidad reproductiva (Gonor, 1972; Kenner, 1992; Baker *et al.* 1998)

En las localidades del norte los erizos presentaron mayor índice gonádico indicando un mayor esfuerzo reproductivo, atribuible a la continua disposición de algas a la deriva (Leighton, 1971). Contrastando con las observaciones de Gonor (1972) que encuentra menores índices gonadales en poblaciones con alta densidad, en este estudio se obtienen mayores índices gonádicos en los sitios con mayor densidad. Siendo la latitud y la aproximación al límite de distribución de la especie lo que se encuentra limitando estas características poblacionales.

Pérez Rodríguez (1995) encontró los índices gonadales más altos en el mes de noviembre donde se colectaron datos a lo largo de un año. El presente trabajo difiere en los resultados antes mencionados ya que mostró una leve tendencia al incremento de las gónadas en febrero. Las características ambientales varían de una temporada a otra, aunado a que nuestro muestreo fue puntual en dos tiempos: invierno (diciembre) y primavera (febrero-marzo) y no colectamos datos de noviembre lo que podría explicar las diferencias. Adicionalmente, se propone la hipótesis de que existe una tendencia a acumular gónadas al final del invierno, considerando que el pico reproductivo es en primavera.

De acuerdo con Neushul (1963), Dayton *et al.* (1992) y Ladah y Zertuche (2004) el número de frondas por planta de *M. pyrifera* puede ser utilizado para diferenciar entre plantas juveniles y adultas. A pesar de que en las localidades del sur se encontraron las plantas más

viejas (numero de frondas por planta), no se observaron diferencias significativas en el número de frondas por planta entre las localidades. Se encontró que en el norte los mantos son más densos (mayor numero de plantas m^{-2}) que en el sur, pero con el mismo número de frondas por planta, lo que resulta en una mayor densidad de frondas m^{-2} . Con este mayor número de frondas podemos especular que existe mas alimento disponible para los erizos. Un mayor número de frondas nos muestra un sistema con mayor capacidad de carga (Steneck y Dethier, 1994) y alta disminución de las fuerzas hidrodinámicas inducidas por las corrientes y el oleaje dentro del manto (Utter y Denny, 1996), explicando las mayores densidades de erizos en el norte gracias al ambiente favorable que les provee un manto con mayor densidad de frondas.

Se obtuvo una correlación positiva entre la densidad de plantas con la densidad de erizos morados ($r = 0.95$, $n = 8$) y la densidad de plantas con el índice gonadal ($r = 0.97$, $n = 5$). En el norte se encontraron mantos más frondosos, más erizos e índices gonádicos más altos, debido a que las características físicas y ecológicas de las localidades muestreadas son optimas. Mientras que en el sur, el límite de distribución de esta comunidad, tanto los erizos como los mantos están sujetos a un mayor estrés ambiental.

Kenner y Lares (1991) afirman que la alimentación del erizo se ve reflejada en el índice gonadal, encontrado que los erizos cerca o dentro de los mantos presentan mayores índices gonadales que los erizos encontrados en los desiertos. Para este estudio, a pesar de los pocos datos de por zonas, se encontró que los índices gonadales de los erizos dentro, en el borde o fuera del manto no presentaron diferencias significativas. De este modo, solamente podemos llegar a inferir que la alimentación de los erizos pudo ser homogénea dentro y

fuera de los mantos de Baja California en el invierno y primavera 2003-2004. Y debido a que encontramos una fuerte correlación entre el índice gonadosomático y el gonádico, podemos inferir que el resultado sería el mismo utilizando cualquiera de estos dos métodos para calcular el índice gonadal.

VII. Conclusiones

En el presente trabajo se encontró que las características poblacionales del erizo morado en las líneas de alimentación adyacentes a un manto de *Macrocystis pyrifera* se encuentran en estrecha relación con la capacidad de carga de los mantos y con la explotación de recursos pesqueros. No se pudo encontrar una clara relación con la variabilidad de la temperatura. La densidad e índice gonadal del erizo morado tiende a ser mayor en áreas con alta densidad de frondas m^{-2} (capacidad de carga) del manto, y en zonas donde se extraen depredadores y competidores del sistema vía pesquería. Por otro lado, los erizos tienden a ser más grandes en el límite sur de distribución, con número de frondas m^{-2} reducidas y en localidades protegidas de la pesquería. Los índices gonadales mostraron una ligera tendencia a ser mayores en las localidades del norte, con mayor capacidad de carga del manto y menor esfuerzo de pesquero.

Las características poblacionales del erizo morado se encuentran distribuidas homogéneamente dentro y fuera del manto. En invierno la densidad de los erizos parece ser mayor dentro del manto y en primavera concentrarse afuera del manto, sin embargo, la tendencia no es tan evidente.

VIII. Literatura citada.

- Abbott, I. A. y G. J. Hollenberg. (1976). "Marine algae of California". Stanford University Press, California. E.U.A. 827 pp.
- Alcoverro, T., y S. Mariani. (2002). "Effects of sea urchin grazing on seagrass (*Thalassodendron ciliatum*) beds of a Kenyan Lagoon". Marine Ecology Progress Series **226**:255-263.
- Barker, M. F., J. A. Keogh, J. M. Lawrence y A. L. Lawrence. (1998). "Feeding rate, absorption efficiencies, growth and enhancement of gonad production in the New Zealand sea urchin *Evechinus chloroticus* Valenciennes (Echinoidea: Echinometridae) fed prepared and natural diets". Journal of Shellfish Research **17**(5):1583-1590.
- Barnes, R.D. (1987). "Invertebrate Zoology", 5th edition. CBS College Publishing, USA. 721 pp.
- Blanchette, C. A., S. Gaines y B. Miner. (2002). "Geographic Variability in Form, Size & Survival of *Egregia menziesii* (Turner) Areschoug around Point Conception, California". Marine Ecology Progress Series **239**:69-82.
- Bertness M. D., G. T. Trussell, P. J. Ewanchuk y B. R. Silliman. (2002). "Do alternate stable community states exist in the gulf of Maine rocky Intertidal zone?" Ecology **83**(12):3434-3448.

- Breitburg, D. L. (1996). "Consumer mobility and the relative importance of consumption and competition following physical disturbance". Marine Ecology Progress Series **138**:83-92.
- Bromham L. y M. Cardillo. (2003) "Testing the link between the latitudinal gradient in species richness and rates of molecular evolution". Journal of Evolutionary Biology **16**:200-207.
- Brown, J. H. y A. C. Gibson. (1983). "Biogeography". Ed. Mosby. St. Louis, Missouri, E.U.A. 640 pp.
- Brown, M. T., M. A. Nyman, J. A. Keogh y N. K. M. Chin. (1997). "Seasonal growth of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in New Zealand". Marine Biology **129**(3):417-424
- Chu y Levin, (1989). "Photoperiod and temperature regulation of growth and reproduction in *Streblospio benedicti*". Invertebrate Reproduction and Development. **15**:131-137
- Connell, J. H. y S. Schroeter. (1975). "The effect of fishing sea urchins on the marine ecosystem". University of California., Sea Grant Program. Santa Barbara: 72-73
- Connell, J.H. y W.P. Sousa. (1983). "On the evidence needed to judge ecological stability or persistence" The American Naturalist. **121**(6):789-824.
- Connolly S. R., a. J. Roughgarden. (1998). "A latitudinal gradient in northeast pacific intertidal community structure: Evidence for an oceanographically based synthesis of marine community theory". The American Naturalist **151**:311-326.

- Connor, J. y C. Baxter (1989). "Kelp Forests". Monterey Bay Aquarium natural History series. Monterey Bay Aquarium Foundation. California, E.U.A. 64 pp.
- Cowen, R. K., C. R. Agegian y M. S. Foster. (1982). "The maintenance of community structure in a central California giant kelp forest". Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **64**(2):189-201.
- Dayton, P. K. y J. H. Connell. (1977). "Studies towards the optimal management and environmental effects of sea urchin fisheries". University of California, Sea Grant Program. San Diego, E.U.A. 78-101.
- Dayton, P. K. y M. Tegner. (1984). "Catastrophic storms, El Niño, and Patch stability in a southern California Kelp Community". Science **224**:283-384.
- Dayton, P. K., M. Tegner, P. B. Edwards y K. L. Riser. (1999). "Temporal and spatial scales of kelp demography: the role of oceanographic climate". Ecological Monographs **69**(2):219-244.
- Dayton, P., M. Tegner, P. Parnell y P. Edwards. (1992). "Temporal and spatial patterns of disturbance and recovery in a kelp forest community." Ecological Monographs **62**:421-445.
- Dean, T. A., S. C. Schroeter y J. Dixon. (1984). "Effects of grazing by two species of sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *Lytechinus anamesus*) on recruitment and survival two species of kelp (*Macrocystis pyrifera* and *Pterygophora californica*)". Marine Biology **78**:301-313.

- Duggins, D. O. (1980). "Kelp beds and sea otters: an experimental approach". Ecology **61**:447-453.
- Duggins, D.O. (1981). "Sea urchin diet and kelp: the effects of short term changes in urchin diet". Limnology and Oceanography **26**(2):391-394.
- Ebeling, A. W., Laur, D. R. y Rowley, R. J. (1985). "Severe storm disturbances and reversal of community structure in a southern California kelp forest". Marine Biology **84**:287-294.
- Ebert, T. A. (1965). "A technique for individual marking of the sea urchins". Ecology **46**:193-194.
- Ebert, T. A. (1968). "Growth rates of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* related to food availability and spine abrasion". Ecology **49**(6):1075-1091.
- Ebert, T. A. y M. Russell. (1988). "Latitudinal variation in size structure of the west coast purple sea urchin: a correlation with headlands". Limnology and Oceanography **33**(2):286-294.
- Estes, J. A., R. J. Jameson y E. B. Rhose. (1982). "Activity and prey selection in the sea otter: Influence of population status on community structure". The American Naturalist **120**:242-258.
- Foster, M. S. y D. R. Schiel. (1985). "The ecology of giant kelp forests in California: a community profile". U.S. Fish and Wildlife Service Biological Rep. (85, 7.2). E.U.A. 152 pp.

- Gagnon P., J. H. Himmelman y L. E. Johnson. (2003). “Algal colonization in urchin barrens: defense by association during recruitment of the brown alga *Agarum cribrosum*”. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **290**:179–196
- Gagnon P., J. H. Himmelman y L. E. Johnson. (2004). “Temporal variation in community interfaces: kelp-bed boundary dynamics adjacent to persistent urchin barrens”. Marine Biology **144**: 1191–1203.
- Gonor, J. (1972). “Gonad growth in the sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus* and the assumptions of gonad index methods”. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **10**:89-103
- Gregor, C. (2001). “The ecological roles of sea urchins: an investigation of community structure and stability in kelp forest ecosystems”. San Diego State University. Biology 515 lecture report. 25 pp.
- Harrold, C., y D. Reed. (1985). “Food availability, sea urchin grazing, and kelp forest community structure”. Ecology **66**(4):1160-1169.
- Hart, M. W. y R. E. Scheibling. (1988). “Comparing shapes of echinoplutei using principal components analysis, with an application to larvae of *Strongylocentrotus droebachiensis*”. 277-284 p. En: R. D. Burk, P. V. Mladnov, P. Lambert, and R. L. Parsley (eds). Echinoderm Biology. A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Hartvig, C., S. Fredriksen, y E. Rinde. (1998). “Regrowth of kelp and colonization of epiphyte and fauna community after kelp trawling at the coast of Norway”. Hydrobiologia **375/376**:49-58.

- Hernandez-Carmona, G., Y. Rodríguez-Montesinos, M. Casas-Valdez, M. Vilchis, y I. Sánchez-Rodríguez. (1991). "Evaluation of the beds of *Macrocystis pyrifera* in the Baja California Peninsula, Mexico III. Summer 1986 and seasonal variation". Ciencias Marinas **17**:121-145.
- Kaustuv, R. y K. K. Martien. (2000). "Invariant size–frequency distributions along a latitudinal gradient in marine bivalves". Ecology **97**(24):13150-13155.
- Kenner, M.C. (1992). "Population dynamics of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* in central California kelp forest: recruitment, mortality, growth and diet". Marine Biology. 112:107-118
- König, K. (2001). "Ocean Forest: The diversity of and Value of Kelp forest Ecosystems". Biodiversity Convention Office Environment. Canada. 11 pp.
- Ladah, L. (1999). "Observaciones en poblaciones del sargazo gigante (*Macrocystis pyrifera*) durante el niño 1997-1998 en Baja California, México". CICESE. <http://elnino.cicese.mx/consecuencias/sargazo.htm>. Septiembre 2003.
- Ladah, L. (2000). "Historia de vida de *Macrocystis pyrifera* en su límite sur de distribución en el hemisferio norte: estrategias de supervivencia". Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México. 139 pp.
- Ladah, L., J.A Zertuche-González, y G. Hernández-Carmona (1999). "Giant Kelp (*Macrocystis pyrifera*, Phaeophyceae) recruitment near its southern limit in Baja

- California after mass disappearance during ENSO 1997-1998". Journal of Phycology. **35**:1106-1112.
- Lafferty, D. K. y D. J. Kushner, (2002). "Population regulation of the purple sea urchin, *Strongylocentrotus purpuratus*, at the California Channel Islands". 156-172 p. En: Chang W. (ed) 5th California Islands Symposium. Minerals Management Service, California, E.U.A.
 - Leighton, D. L. (1960) "Quarterly Progress Report Kelp Investigation Program". University of California, Institute of Marine Research, IMR Ref 60-8. 28 pp.
 - Leighton, D. L. (1971). "Grazing activities of benthic invertebrates in southern California kelp beds". Nova Hedwigia **32**:421-453.
 - Leighton, D. L., L. G. Jones y W. J. North. (1966). "Ecological relationships between giant kelp and sea urchins in southern California". Proceedings of the international seaweed symposium **5**:141-153.
 - Lubchenco, J. y B. A. Menge. (1978). "Community stability: effects of limpet persistence in a low rocky intertidal zone". Ecological Monographs **48**:67-94.
 - Mann, K. H., J. L. C. Wright, B. E. Welsford y E. Hatfield. (1984). "Responses of the sea urchins *Strongylocentrotus droebachiensis* (O.F. Muller) to waterborne stimuli from potential predators and potential food algae". Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **79**:233-244.
 - Marchesiello, P., J. McWilliams y A. Shchepetkin. (2003). "Equilibrium Structure and Dynamics of the California current system". Journal of Physical Oceanography **33**:753-783.

- McBride, S. C., W. D. Pinnix, J. M. Lawrence, A. L. Lawrence y T. M. Mulligan. (1997).
 “The effect of temperature on production of gonads by the sea urchin
Strongylocentrotus franciscanus fed natural and prepared diets”. Journal of the
 World Aquaculture Society **28**(4):357-364.
- McPeak, R. H., D. A. Glantz y C. R. Shaw (1988). “The Amber Forest. Beauty and
 biology of California’s submarine forest.” Watersport Publishing, Inc. 143 pp.
- Morgan, L. E., S. R. Wing, L. W. Botsford, C. J. Lundquist y J. M. Diehl. (2000).
 “Spatial variability in red sea urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) recruitment
 in northern California”. Fisheries Oceanography **9**:83–98.
- Morris, R. H., D. P. Abbott y E. C. Harderlie. (1980). “Intertidal invertebrates of
 California.” Stanford University Press. 690 pp.
- Neushul, M. (1963). “Studies on the giant kelp *Macrocystis* II. Reproduction”. American
 Journal of Botany. **50**:354–359.
- North, W. J. (1971). “Growth of the individual fronds of the mature giant kelp,
Macrocystis”. En: The Biology of giant kelp beds (*Macrocystis*) in California.
Nova Hedwigia **32**:123-130
- North, W. J. y S. Manley. (1986). “*Macrocystis* and its environment, knowns and
 unknowns.” Aquatic Botany **26**:9-26.
- North, W. J. y J. S. Pearse. (1970). “Sea urchin population explosion in southern
 California coastal waters”. Science **167**:209.

- Palleiro, J. S. (1982). Estimación de la densidad y crecimiento del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* para la zona de Sto. Tomás, Baja California, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Baja California. 44 pp.
- Palleiro, J. S., A. L. Lelevier, M. Navarrete y J. M. Romero. (1988). “Biología del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* y su pesquería en Baja California”. En: Los recursos pesqueros del País. SEPESCA, México. 53-74.
- Palleiro-Nayar J. S., Ma. de Lourdes Salgado-Rogel, D. Aguilar-Montero, Manuel Romero-Martínez y F. J. Martínez-García. (2004). “Análisis de la pesquería del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la costa noroccidental de Baja California”. México. INPESCA Vol 1.
- Pérez, S. M. y L. E. Calderón. (1996). “Desarrollo de una nueva pesquería en Baja California: Erizo Morado (*Strongylocentrotus purpuratus*)”. Oceanología **2**(10):7-15.
- Pinnegar, J. K., N. V. C. Polunin, P. Francour, F. Badalamenti., R. Chemello, M. Harmelin, B. Hereu, M. Milazzo, M. Zabala, G. D’Anna y C. Pipitone. (2000). “Trophic cascades ion benthic marine ecosystems: lessons for fisheries and protected-areas management”. Environmental Conservation **27**(2):179-200.
- Ramirez-Felix, E. (2000). “Análisis de erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) según especie clave y conectividad en el área de Santo Tomas a Punta China, Baja California, México”. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera. (14):234-365.

- Richner, H. y M. Milinski (2000). “On the functional significance of masking behavior in sea urchins – an experiment with *Paracentrotus lividus*”. Marine Ecology Progress Series **205**:307-308.
- Rohde, K. (1992). “Latitudinal gradients in species diversity: the search of the primary cause”. Oikos **65**:514–527.
- Sala, E. y M. H. Graham. (2002). “Community-wide distribution of predator–prey interaction strength in kelp forests”. Proceedings of the National Academy of Science of the USA **99**:3678–3683.
- Sanderson, J. C. (1997). “Subtidal macroalgal assemblages in temperate Australian coastal waters, Australia: State of the Environment Technical Paper Series (Estuaries and the Sea). Department of the Environment, Canberra, Australia. 345 p.
- Salgado-Rogel, M. L., J. S. Palleiro-Nayar, D. Aguilar, J. M. Romero y F. J. Martínez. (2002). “La abundancia del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en bancos pesqueros de Baja California, México”. Instituto Nacional de la Pesca. Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada. 22 p.
- Salgado-Rogel, M. L., J. S. Palleiro-Nayar, D. Aguilar, E. R. Felix, D. A. Montero, y M. R. Martínez. (2004). “ Plan de manejo para la pesquería del erizo rojo de mar *Strongylocentrotus franciscanus* y morado *Strongylocentrotus purpuratus* en Baja California, México. Instituto Nacional de Pesca. 45 p.
- Scheibling, R. y Stephenson, R. (1984). “Mass mortality of *Strongylocentrotus droebachiensis* off Nova Scotia, Canada”. Marine Biology. **78**:153-164.

- Scheibling, R., A. W. Hennigar, y T. Balch. (1999). "Destructive grazing, epiphytism, and disease: the dynamics of sea urchin-kelp interactions in Nova Scotia". Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. **56**:2300-2314.
- Schroeter, S. C., J. D Dixon, J. Kastendiek, R. O. Smith y J. R. Bence. (1993). "Detecting the ecological effects of environmental Impacts: a case study of kelp forest invertebrates". Ecological Applications **3**(2):331-350.
- Shurin, B. J., Amarasekare, P., J. M. Chase., R. D. Holt., M. F. Hoopes., M. A. Leibold. 2004. "Alternative Stable States and regional community structure". Journal of Theoretical Biology. **227**: 359-368
- Simenstad, C. A., Estes, J. A. y K. W. Kenyon. (1978). "Aleuts, Sea Outters, and Alternate stable-state communities". Science **200**(28):403-411.
- Steneck, R. S. (1983). "Escalating herbivory and resulting adaptive trends in calcareous algal crusts". Paleobiology 9:44-61.
- Steneck, R. S. y M. N. Dethier. (1994). "A functional group approach to the structure of algal-dominated communities". Oikos **69**: 476-498.
- Stewart, J. G. (1991). "Marine algae and seagrasses of San Diego County". California Sea Grant College 197 pp.
- Tegner, M. J., P. K. Dayton, P. B. Edwards y K. L. Riser. (1995). "Sea Urchin cavitation of giant kelp (*Macrocystis pyrifera* C. Agardh) holdfast and its effects on kelp mortality across a large California forest". Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **191**: 83-99.

- Tsuchiya, M., K. Yanagiya y M. Nishihara. (1987). “Mass mortality of the sea urchin *Echinometra mathaei* (Blainville) caused by high water temperature on the reef flats in Okinawa, Japan”. Galazea **6**:375-385.
- Underwood, A. (1997). “Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance”. Cambridge University Press, Cambridge. 504 pp.
- Utter, B. D. y M. W. Denny (1996). “Wave-induced forces on the giant kelp *Macrocystis pyrifera* (Agardh): Field test of a computational model”. Journal of experimental Biology. **199**:2645-2654.
- Vélez, L. V. (1997). “Crecimiento y desarrollo gonadal del erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en las Isla de Todos Santos, Baja California, México”. Tesis de Maestría en Ciencias. CICESE. 75 pp.
- Zar, J. H. (1984). “Biostatistical analysis”. Prentice Hall, New Jersey, E.U.A. 718 pp.