



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL
NOROESTE, S. C.

Programa de Estudios de Posgrado

**BIOLOGÍA POBLACIONAL DEL ERIZO *Echinometra*
vanbrunti (Echinodermata: Echinoidea), EN EL SUR DEL
GOLFO DE CALIFORNIA, MÉXICO.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias

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

p r e s e n t a

Sergio Scarry González Peláez

La Paz, B. C. S., julio de 2004

BIOLOGÍA POBLACIONAL DEL ERIZO *Echinometra vanbrunti*
(Echinodermata: Echinoidea), EN EL SUR DEL GOLFO DE
CALIFORNIA, MÉXICO.

POR

SERGIO SCARRY GONZÁLEZ PELÁEZ.

DIRECTOR. IRMA OLGUÍN ESPINOZA.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroestes, S.C.

COMITÉ TUTORIAL

DR. JUAN ANTONIO DE ANDA MONTAÑEZ.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroestes, S.C.

DR. DANIEL BERNARDO LLUCH COTA.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroestes, S.C.

COMITÉ REVISOR DE TESIS

DRA. IRMA OLGUÍN ESPINOZA.
DR. JUAN ANTONIO DE ANDA MONTAÑEZ.
DR. DANIEL BERNARDO LLUCH COTA.

JURADO DE EXAMEN

DRA. IRMA OLGUÍN ESPINOZA.
DR. JUAN ANTONIO DE ANDA MONTAÑEZ.
DR. DANIEL BERNARDO LLUCH COTA.

SUPLENTE: M.C. EDUARDO FRANCISCO BALART PAEZ.
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroestes, S.C.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	X
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
2.1 Historia natural de <i>Echinometra vanbrunti</i>	4
2.2 Dinámica poblacional en erizos de mar	7
3. OBJETIVOS	13
3.1 Objetivo general	13
3.2 Objetivos particulares	13
4. MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1 Área de estudio	14
4.2 Trabajo de campo	16
4.3 Análisis de datos	18
4.3.1 Estructura de tallas de la población	18
4.3.2 Relaciones morfométricas	18
4.3.3 Estimación de parámetros poblacionales	19
4.3.3.1 Crecimiento individual	19
4.3.3.2 Estructura de edades relativas de la población	22
4.3.3.3 Mortalidad	23
4.3.3.4 Reclutamiento	25

ÍNDICE GENERAL (Continuación)

4.3.4 Densidad poblacional	26
4.3.5 Rendimiento en biomasa	26
5. RESULTADOS	28
5.1 Estructura de tallas de la población	28
5.1.1 Diámetros de la testa	28
5.1.2 Pesos drenados y totales	35
5.2 Relaciones morfométricas	42
5.3 Estimación de parámetros poblacionales	47
5.3.1 Crecimiento individual	50
5.3.2 Estructura de edades relativas de la población	54
5.3.3 Mortalidad	56
5.3.4 Reclutamiento	57
5.4 Densidad poblacional	61
5.5 Rendimiento en biomasa	62
6. DISCUSIÓN	63
6.1 Estructura de tallas de la población	63
6.2 Relaciones morfométricas	67
6.3 Estimación de parámetros poblacionales	69
6.3.1 Crecimiento individual	70
6.3.2 Estructura de edades relativas de la población	71
6.3.3 Mortalidad	73
6.3.4 Reclutamiento	75

ÍNDICE GENERAL (Continuación)

6.4 Densidad poblacional	78
6.5 Rendimiento en biomasa	80
6.6 Perspectivas del aprovechamiento del erizo <i>E. vanbrunti</i>	81
7. CONCLUSIONES	84
8. RECOMENDACIONES	86
9. LITERATURA CITADA	88

ÍNDICE DE TABLAS

I	Medidas de tendencia central para el diámetro de <i>Echinometra vanbrunti</i>	28
II	Resultado del análisis de varianza aplicado a los diámetros y su prueba <i>a posteriori</i>	34
III	Medidas de tendencia central para el peso drenado (g) de <i>Echinometra vanbrunti</i>	36
IV	Resultado del análisis de varianza aplicado a los pesos drenados y su prueba <i>a posteriori</i>	39
V	Medidas de tendencia central para el peso total (g) de <i>Echinometra vanbrunti</i>	40
VI	Resultado del análisis de varianza aplicado a los pesos totales y su prueba <i>a posteriori</i>	42
VII	Relaciones diámetro-peso (total) estimadas para otros equinoideos (nd = no disponible).....	45
VIII	Resumen del calculo de la tasa de mortalidad natural para <i>Echinometra vanbrunti</i> usando diferentes métodos.....	56
IX	Fecha estimada de reclutamiento (asentamiento) del erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> para la localidad de Ensenada de Muertos.....	59
X	Comparación de parámetros poblacionales estimados para otros erizos del genero <i>Echinometra</i> y otros de importancia comercial (*)......	71
XI	Densidades de <i>E. vanbrunti</i> y su comparación con la de otras especies...	79

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Localización del área de estudio.....	15
2	Estructuras de talla del erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos (2001 y 2002).....	29
3	Distribución mensual de frecuencia de tallas (diámetro de testa en mm) del erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos.....	31
4	Peso drenado (g) del erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos.....	36
5	Peso drenado (g) mensual para el erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos.....	37
6	Peso total (g) del erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos.....	40
7	Peso total (g) mensual del erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos.....	41
8	Relación diámetro-peso drenado para erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos.....	43
9	Relación diámetro-peso total para erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos.....	44
10	Relación diámetro-peso de la gónada para el erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos.....	44
11	Modelos de la relación-diámetro peso de la gónada del erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> , anual y para el mes de agosto, y la estimada para Bahía Magdalena (Datos de Bahía Magdalena no publicados, cortesía de Biol. Antonio Masso-Rojas, CRIP-La Paz)	46

ÍNDICE DE FIGURAS (continuación).

12	Distribución de las modas detectadas usando el método de Bhattachayra, con intervalos de 2 mm (a) y 3 mm (b), y el Programa SiZer (c); modas con confiabilidad alta (◆), media (□), baja (Δ) y mínima (×).....	48
13	Estructura de frecuencia de tallas en la que se muestra la curva de crecimiento y los puntos que coinciden con las modas detectadas con los métodos Bhattacharya y el programa SiZer.....	49
14	Gráfico de von Bertalanffy usado para el cálculo de T_0	50
15	Curva de crecimiento en diámetro tipo von Bertalanffy en su forma sencilla para el erizo de mar <i>Echinometra vanbrunti</i>	51
16	Curva de crecimiento en diámetro tipo von Bertalanffy en su forma estacionalizada para el erizo de mar <i>Echinometra vanbrunti</i>	52
17	Curva de crecimiento en peso tipo von Bertalanffy en su forma sencilla para el erizo de mar <i>Echinometra vanbrunti</i>	53
18	Relación entre K y L_{inf} de algunas especies de erizos (○) y la posición del valor de <i>Echinometra vanbrunti</i> (●) en esta relación.....	54
19	Edades estimadas para la población del erizo de mar <i>Echinometra vanbrunti</i> en Ensenada de Muertos para las temporadas 2001 y 2002; el número en la parte superior de cada barra se indica el año de nacimiento de cada cohorte.....	55
20	Curva de sobrevivencia (promedio) para una cohorte típica del erizo de mar <i>Echinometra vanbrunti</i> de Ensenada de Muertos.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS (continuación).

21	Estructura de tallas para el erizo <i>Echinometra vanbrunti</i> , donde se muestra la aparición de modas de posibles reclutas.....	58
22	Períodos de desove y reclutamiento esperado, y su relación con la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila a.....	60
23	Densidad de <i>Echinometra vanbrunti</i> para las zonas Intermareal y Submareal de Ensenada de Muertos.....	61
24	Rendimiento en peso respecto a la edad y el diámetro para el erizo <i>Echinometra vanbrunti</i>	62

RESUMEN

En México, las principales especies que sostienen la pesquería de erizo, *Strongylocentrotus franciscanus* y *S. purpuratus*, muestran fuertes signos de sobreexplotación. Recientemente, se ha generado interés por las especies de aguas tropicales como una alternativa para la pesquería, sin embargo, se conoce muy poco acerca de la biología de sus poblaciones. El erizo *Echinometra vanbrunti*, es común y abundante en el Golfo de California y puede ser un candidato potencial para la pesquería. Por tal razón, se requiere generar información que contribuya a entender su dinámica poblacional para planes de manejo futuros. El objetivo de este estudio fue analizar la biología poblacional del erizo *E. vanbrunti* en Ensenada de Muertos (24° 01' N, 109° 48' W), localidad del sur del Golfo de California. Se hicieron mediciones del diámetro de la testa de un total de 2262 erizos, en campañas mensuales en el período abril 2001-noviembre 2002. A partir de estos datos, se estimó la distribución de frecuencia de tallas y los parámetros poblacionales de la especie usando el programa para evaluación de pesquerías FiSAT. Además, se determinaron las relaciones diámetro-peso (total, drenado y gónada) de 606 individuos, durante el período marzo 2001-abril 2002. Las zonas intermareal y submareal fueron censadas mediante cuadrantes de 1 m² y transectos de 25 m x 2 m (50 m²), para estimar densidad de población y distribución batimétrica. La distribución global de frecuencia de tallas mostró un patrón bimodal, lo cual sugiere una alta tasa de mortalidad en juveniles. Las distribuciones mensuales de frecuencia de tallas, indicaron que el reclutamiento es anual y que ocurre entre los meses de octubre y diciembre. Las relaciones diámetro-peso drenado y diámetro-peso total, indicaron que los individuos crecen de manera

alométrica ($b= 2.43$ y 2.59 , respectivamente). Los parámetros de crecimiento estimados para el modelo de von Bertalanffy fueron: $L_{inf} = 77.58$ mm, $K= 0.36$ (año⁻¹) y $W_{inf} = 190.8$ g. Este modelo muestra que individuos menores de 23 mm de diámetro, o menores de 34 g, son menores de un año de edad, mientras que los individuos de las tallas más grandes registradas (> 73 mm y 164 g) tienen una edad aproximada de 8 años. La mayor parte de la población se encontró distribuida en los primeros 4 años de edad, con una importante representación de individuos de uno y tres años de edad. El rendimiento máximo en biomasa para una cohorte típica, se ubicó alrededor de los 2 años de edad. La tasa de mortalidad natural resultó ser relativamente alta ($M= 1.44$), indicando que el 77% de los reclutas no sobreviven al primer año de edad. La densidad poblacional fue mayor en la zona intermareal (7.56 ind/m²) que en el submareal (1.83 ind/m²) y resultó ser relativamente alta para una especie de erizo de zona tropical. En conclusión, el análisis de la biología poblacional de *E. vanbrunti* indica que esta especie puede ser una buena alternativa para diversificar la pesquería de erizo en México, aunque no se espera que el rendimiento pueda ser tan alto como el de las pesquerías de erizos de aguas templadas.

Vo. Bo. Director de Tesis

Dra. Irma Olguín Espinoza

ABSTRACT

The main species sustaining the sea urchin fishery in Mexico, *Strongylocentrotus franciscanus* and *S. purpuratus*, are showing strong signs of overfishing. Recently, interest has focused on tropical species as alternative for this fishery, however, very little is known about their population biology. The sea urchin *Echinometra vanbrunti* is common and abundant in the Gulf of California, and can be a potential candidate for the fishery. For this reason, it is necessary to understand the population dynamics of the species for future management plans. The aim of this study was to analyze the population biology of this sea urchin in Ensenada de Muertos (24° 01' N, 109° 48' W), in the southern Gulf of California. Size frequency distributions and population parameters were estimated from monthly measurements of sea urchin test diameters, using the computer fisheries assessment program FiSAT. A total of 2262 sea urchins were measured for this purpose from April 2001 to November 2002. In addition, diameter-weight (total, drained and gonad) relationships were determined from 606 individuals, from March 2001 to April 2002. Population density and bathymetric distribution surveys of *E. vanbrunti* were made in the intertidal and subtidal zones using 1 m² quadrats and 25m x 2 m (50 m²) transects. The pooled size-frequency data showed a bimodal distribution suggesting a high juvenile mortality rate. Monthly size-frequency distributions showed that recruitment is annual and occurs between October and December. Diameter-weight relationships for drained weight and total weight, indicated that individual growth is allometric (b= 2.59 and 2.59, respectively). The estimated parameters for von Bertalanffy growth function were: $L_{inf} = 77.58$ mm, $K = 0.36$ (year⁻¹) and $W_{inf} = 190.8$ g. This model shows that individuals less than 23 mm in test diameter,

or less than 34.0 g are less than one year-old, whereas the largest specimens recorded (> 73 mm and 164 g) are about 8 years-old. Most of the population was distributed around the 4 years of age, with an important representation of 1 and 3 year-olds. For a typical cohort, the maximum biomass yield is reached at 2 years of age. Natural mortality rate is relatively high ($M = 1.44$) indicating that 77 % of the recruits do not survive their first year of age. The population density was higher (7.56 ind/m^2) in the intertidal than in the subtidal (1.83 ind/m^2) zone and it showed to be relatively high for a tropical sea urchin species. Overall, the population biology analysis for *E. vanbrunti* indicates that this is a good alternative species to diversify the sea urchin fishery in Mexico, although, the yield is not expected to be as high as that of sea urchin fisheries in temperate regions.

Vo. Bo. Director de Tesis

Dra. Irma Olguín Espinoza

1. INTRODUCCIÓN

Los erizos marinos (Phylum Echinodermata), especialmente los erizos regulares que incluyen a los géneros *Strongylocentrotus*, *Loxechinus*, *Paracentrotus*, *Tripneustes*, *Evechinus* y *Echinometra*, son muy apreciados por sus gónadas, que son usadas para consumo humano en algunos países del Mediterráneo y Asia (Sloan, 1985). Japón es el mayor consumidor de este producto, captando más del 80% de la producción mundial (Agatsuma, 2003). El precio de gónada en fresco en ese país oscila entre los 12 y los 140 dólares por unidad de 300 g (Alaska Department of Community and Economic Development 2003). El alto precio y la creciente demanda en el mercado Japonés (Kalvass y Hendrix, 1997), han propiciado el establecimiento de la pesca y cultivo del erizo en varios países, aun en aquellos lugares en los que tradicionalmente no se consume este producto. Los principales países exportadores de gónada de erizo son Canadá, Estados Unidos, México, Chile, Perú, así como algunos países del Caribe. A partir de 1984, el mercado japonés incrementó sus importaciones, lo cual ha elevado los niveles de explotación en los países productores (Agatsuma, 2003), teniendo como consecuencia el rápido agotamiento de las poblaciones naturales de algunas especies (Cañedo-López *et al.*, 1999; Dewees, 2003). Según los registros de la FAO, en 1982 las capturas anuales a nivel mundial oscilaban alrededor de las 50,000 toneladas de erizo vivo (Sloan, 1985), mientras que las más recientes son de alrededor de las 117,000 toneladas (Keesing y Hall, 1998). A pesar de esto, actualmente las capturas se mantienen en un nivel relativamente estable, debido a la constante integración de nuevas áreas de pesca (Stotz, 2003).

En México, actualmente la pesquería de erizo se practica exclusivamente en el estado de Baja California y está basada únicamente en dos especies, *Strongylocentrotus franciscanus* y *S. purpuratus*, con una producción cercana a 2,000 toneladas anuales (Anuario Estadístico de Pesca, 2000). Estas especies, al igual que en otros países, han experimentado una reducción substancial en sus capturas en la última década (Cañedo-López *et al.*, 1999). Pese a la situación anterior, la pesca de erizo sigue siendo una actividad económica fundamental para la costa noroccidental de México, y dentro de las primeras en importancia para el estado de Baja California. La derrama económica anual por concepto de exportación de este recurso es cercana a los 8 millones de dólares (Anuario de pesca, 2000), pagándose a razón de 250 pesos el kilo de gónada (Salgado-Rogel, CRIP-Ensenada, com. pers. 2003). El impacto social de esta actividad productiva, mediante la generación de empleos directos, es considerable, ya que se reporta que más de 2000 familias dependen de ella (Palleiro-Nayar *et al.*, 1991; Rudie, 1992).

Para extender la pesca de erizo hacia otras regiones del país sería necesario dirigirla hacia especies alternativas que permitan continuar y aumentar la producción. En adición a las especies actualmente explotadas, se conoce la existencia de al menos cinco especies que por su abundancia y distribución son potencialmente aprovechables en México: *Echinometra vanbrunti*, *Tripneustes depressus*, *Toxopneustes roseus* y *Diadema mexicana* en el litoral del Pacífico y *Tripneustes ventricosus*, *Echinometra lucunter* y *Lythechinus variegatus* en el Golfo de México y mar Caribe (Caso, 1978; Espino-Barr *et al.*, 1996; Olguín-Espinoza, 2000). No obstante, después de más de un siglo de que estas especies fueron descritas (e.g. Caso, 1992), la información generada sobre su biología y dinámica poblacional es escasa y se desconocen aun aspectos

fundamentales para determinar su potencial para la pesca o la acuicultura. La obtención de esta información es prioritaria, previo al inicio de la explotación, pues como lo muestran las tendencias mundiales en las capturas, es necesario establecer planes de manejo que aseguren la sustentabilidad del recurso erizo.

Las densidades de las especies de erizo que habitan en aguas tropicales, como es el caso de las especies mencionadas, son generalmente más bajas que las de aguas templadas que son las que sostienen las grandes pesquerías. Sin embargo, considerando la rentabilidad potencial de la pesquería de erizo, es inminente que algunas de estas especies comenzarán a ser explotadas. Existe ya el antecedente de que especies de estos mismos géneros o familias son aprovechadas comercialmente en otros países. En Japón, *Tripneustes gratilla*, considerado morfológicamente indistinguible de *T. depressus*, es una importante especie de cultivo (Sakai y Tajima, 2003); *Evechinus chloroticus*, de la familia Echinometridae, sostiene una pesquería importante en Nueva Zelanda (Barker y Fell, 2003); y *Tripneustes ventricosus* es un recurso pesquero en países del Caribe (Olguín-Espinoza, 2000).

La ley pesquera de nuestro país señala que los recursos deben ser evaluados para obtener permisos de extracción; sin embargo, experiencias como la explotación del abulón azul *Haliotis fulgens* (e.g. Reinecke-Reyes, 1998), de la madre perla *Pinctada mazatlanica* (e.g. Saucedo y Monteforte, 1997) y del callo de hacha, *Pinna rugosa* y *Atrina maura* (Fajardo-León, 1998), muestran cómo la falta de información científica previa a su explotación trajo como consecuencia el agotamiento de las poblaciones naturales y ha dificultado el diseño y aplicación de planes de recuperación de las poblaciones.

En las costas de Baja California Sur, los erizos *E. vanbrunti* y *T. depressus* podrían ser candidatos potenciales para su aprovechamiento en la región, ya que son comunes y llegan a ser muy abundantes (Caso, 1992; Solís-Marín *et al.*, 1997; Olguín-Espinoza, 2000). A esto hay que agregar que actualmente existen grupos de pescadores interesados en comenzar a extraer el erizo *T. depressus*, tanto en Baja California Sur como en Sonora. En Baja California Sur, se tiene el antecedente de que en 1997, se intentó la explotación pesquera de *E. vanbrunti*; sin embargo, por desconocimiento de la biología de la especie en relación a los factores que afectan la calidad de las gónadas para el mercado, la pesquería no llegó a establecerse, pese a haberse determinado que el stock era suficiente para mantenerla (Antonio Masso, CRIP-La Paz, com. pers. 2003).

Ante estas perspectivas de explotación y de falta de información sobre la biología y la ecología de las especies de erizo en la región, el presente estudio se enfoca a analizar aspectos fundamentales de la biología poblacional del erizo *E. vanbrunti*, en particular, se determina la tasa de crecimiento individual, los patrones de reclutamiento y la tasa de mortalidad natural. Esto con el propósito de que la información generada contribuya al conocimiento de la ecología de la especie y aporte elementos para la planeación de su utilización como recurso pesquero potencial en Baja California Sur.

2. ANTECEDENTES

2.1 Historia natural de *Echinometra vanbrunti*

Echinometra vanbrunti del Phylum Echinodermata, pertenece a la Clase Echinoidea, Subclase Regularia, donde se agrupan todos los erizos regulares. Es una especie bentónica que habita el intermareal rocoso y aguas someras, generalmente a una

profundidad no mayor a los 3 m, donde se adhiere fuertemente al sustrato y excava agujeros en corales o rocas basálticas (Reyes-Bonilla, 1995). Su rango de distribución va desde la parte central de California hasta el sur del Perú incluyendo las islas Galápagos (Brusca, 1980). En México, sus poblaciones se distribuyen a lo largo de toda la costa del Pacífico, principalmente en las costas de Baja California Sur, Colima, Guerrero y en las islas Socorro y San Benedicto (Caso, 1992; Reyes-Bonilla, 1995).

En general, los trabajos publicados que mencionan a *E. vanbrunti*, han sido listados taxonómicos del Phylum Echinodermata (Solís-Marín *et al.*, 1993 y 1997; Reyes-Bonilla, 1995; Cintra-Buenrostro *et al.*, 1998), algunos incluyen la descripciones de la especie y su distribución (Caso, 1978 y 1992). Los pocos estudios biológicos reportados han sido enfocados a aspectos reproductivos. Lessios (1981), indica que en Panamá, *E. vanbrunti* alcanza picos máximos en la talla de las gónadas en el mes de septiembre, sugiriendo que el período de desove para esta especie va de septiembre a octubre, justo antes de entrar a la estación seca. En México, específicamente en Baja California Sur, Lara-Rueda (en proceso), mediante análisis histológico de las gónadas y del índice gonadosomático encontró que la reproducción de *E. vanbrunti* ocurre en los meses de verano y principios de otoño (agosto a octubre), coincidiendo con los máximos en temperatura.

El ciclo de vida de *E. vanbrunti*, como el de la mayoría de los invertebrados bentónicos, comienza una vez que los adultos liberan sus gametos al medio y ocurre la fertilización. A partir de ahí, en las próximas 24 horas se forma la larva y comienza un período sumamente crítico, ya que pasa a formar parte del plancton, donde se encuentra a merced de las corrientes y de los factores bióticos y abióticos que caracterizan al

ambiente pelágico y hacen incierta su sobrevivencia (McEduard y Miner, 2001). Este período en *E. vanbrunti* es de aproximadamente un mes.

Después de esta etapa, ocurre el asentamiento de las larvas y la metamorfosis, otro filtro en la sobrevivencia de los organismos. El sustrato apropiado para el asentamiento de las larvas puede ser limitante, además de que los reclutas son afectados por factores como la desecación, la depredación y la variabilidad en la disponibilidad de alimento y de refugio. Lessios (1981), en su estudio de *E. vanbrunti* en Panamá, señala que la disponibilidad de alimento para los juveniles recién metamorfoseados, puede ser un factor limitante y encuentra que los desoves en las poblaciones ocurren en la época de surgencias, lo cual asegura alimento abundante para las larvas y los reclutas. A este respecto, también se ha encontrado una relación positiva entre la intensidad en los reclutamientos de erizo y la concentración anual de clorofila (McClanahan y Muthiga, 2001). Esta última es un indicador de la abundancia de microalgas disponibles como alimento para las larvas y para el resto del zooplancton y una medida de la productividad primaria en el océano. Estos factores que afectan al reclutamiento pueden ser los principales responsables de la variación de la abundancia y distribución de las poblaciones de erizos (McClanahan y Muthiga, 2001), aunque no es fácil establecer claramente la relación entre el reclutamiento y la abundancia de adultos (e.g. Muthiga, 1996).

Los erizos de mar son un componente importante en los ecosistemas marinos bentónicos, su efecto al alimentarse de las macroalgas llega a ser tal que incluso controlan ecosistemas completos cuando sus poblaciones alcanzan altas densidades (Mottet, 1976; Tegner y Dayton, 1981; Hay, 1984; Levitan, 1988). Para algunas especies de invertebrados su efecto resulta ser benéfico, ya que colonizan los espacios

del sustrato que limpian los erizos al alimentarse, además de hallar protección bajo sus espinas (Tegner y Dayton, 1981; Coyer *et al.*, 1993; Aronson *et al.*, 2002). En Ensenada de Muertos, las algas epilíticas y endolíticas son el recurso al que *E. vanbrunti* tiene mayor acceso, por lo que el raspado del sustrato es el modo más común de alimentarse de esta especie. Sin embargo, hasta ahora, la importancia ecológica de *E. vanbrunti* sólo es posible inferirla a través de las observaciones hechas durante el transcurso del presente estudio y de lo reportado para otras especies del mismo género, ya que no existen reportes para esta especie en particular, fuera de algunas notas ecológicas en las que se menciona que la densidad de estos erizos puede ser tan alta que cubren completamente el sustrato de la zona intermareal (e.g. Brusca, 1980). Esto se ha llegado a observar en Ensenada de Muertos, donde hasta finales de 1999, en una franja de 2-3 km a lo largo de la costa, las rocas se encontraban colonizadas por *E. vanbrunti*, casi exclusivamente (Olguín-Espinoza, comunicación personal). Sin embargo, el presente estudio coincidió con la desaparición, al parecer por mortalidad masiva, de los erizos de la región, a finales de 1999. Este evento ofreció la oportunidad de observar el repoblamiento del área por *E. vanbrunti* y seguir el crecimiento de los primeros reclutas durante los dos años que duró este estudio. Esta información contribuye al conocimiento de la dinámica poblacional de la especie y de su capacidad de respuesta ante un evento adverso que afectó su abundancia en el área.

2.2 Dinámica poblacional en erizos de mar

La dinámica poblacional de las especies se refiere a los procesos demográficos que tienen como consecuencia la variación espacial y temporal de la abundancia de las poblaciones. Desde esta perspectiva, hay una característica ecológica fundamental de las

poblaciones naturales. Esto es, el número de individuos que existen en una población en el presente (N_{ahora}), es igual al número de individuos que existió previamente (N_{antes}), más la cantidad de individuos añadidos por nacimientos (B) e inmigración (I), menos la cantidad perdida por muertes (D) y emigración (E). Estas variables de las poblaciones son la base para describir la distribución y abundancia de los organismos (Ec. 1; Begon *et al.*, 1990).

$$N_{\text{ahora}} = N_{\text{antes}} + B - M + I - E \quad (1)$$

Para poder entender este proceso, se requiere estimar los parámetros de las poblaciones naturales que reflejen los cambios en su demografía. A partir de ellos pueden describirse y tratar de predecirse los cambios en la abundancia de las poblaciones y establecer estrategias de manejo de los recursos pesqueros (Romero-Juárez y Searcy-Bernal, 1994).

Los parámetros poblacionales que se obtienen con mayor frecuencia son las tasas de crecimiento individual y de mortalidad, ya que éstas afectan directamente a la producción de biomasa y su mantenimiento (Lawrence y Bazhin, 1998); aunque otros atributos como el reclutamiento, la densidad poblacional y la estructura de tallas son igualmente importantes cuando se desea evaluar un recurso (Baqueiro-Cardenas *et al.*, 1992). Las estimaciones de parámetros de crecimiento y mortalidad provienen de métodos directos e indirectos. Los primeros consisten generalmente en marcar animales de edad conocida y mantenerlos en cautiverio, lo cual permite obtener información precisa de los parámetros, sin embargo, su aplicación resulta ser costosa e implica una labor intensiva (Lumingas y Guillou, 1994). Por otra parte, los métodos indirectos

utilizan la información contenida en la distribución de frecuencia de tallas de la población y las bandas de crecimiento de individuos marcados y recapturados.

En la estructura de tallas se encuentra registrado el pasado reciente de la población, ya que contiene información sobre el crecimiento individual, mortalidad, reclutamiento y las variaciones dentro y entre años de estos atributos (Ebert, 1987; e.g. Tegner y Dayton, 1981; Romero-Orozco y Bertsch, 1984; Drummond, 1994; Lamare y Mladenov, 2000). Mediante el análisis de la estructura de tallas se separa en cohortes una distribución de tallas compleja, y a la vez, se asigna una edad arbitraria a cada uno de estos cohortes, de los cuales se pueden derivar los parámetros de crecimiento al seguir la progresión de modas (i.e. cohortes) de la distribución de frecuencia de tallas en el tiempo (Sparre y Venema, 1995). Una vez establecidos los parámetros de crecimiento, es posible determinar la mortalidad (Z) a partir de la transformación de las tallas en edades (e.g. Sparre y Venema, 1995).

Para los erizos de mar y debido a su importancia económica, existe gran interés en tratar de entender su dinámica poblacional, sin embargo, un problema general para lograr ésto en los equinodermos, es la carencia de métodos directos para identificar a los individuos y evaluar su crecimiento y mortalidad en las poblaciones silvestres. Esto se debe, principalmente, a la dificultad para marcar a los individuos de este grupo, en los cuales son reconocidos los problemas de retención de marcas y etiquetas externas (Ebert, 1965). Lo más comúnmente aplicado son los métodos indirectos basados, principalmente, en la recaptura de organismos marcados internamente con tetraciclina (e.g. Ebert, 1980, 1988; Gage, 1992), en la lectura de bandas de crecimiento (e.g. Chiu, 1990; Lumingas y Guillou, 1994) y en el análisis de la estructura de tallas de las poblaciones (e.g. Tegner y Dayton, 1981; Ebert, 1982 y 1987; Lelevier-Grijalva y

Palleiro-Nayar, 1987; Scheibling y Mladenov, 1988; Freire *et al.*, 1992; Munk, 1992; Drummond, 1994; Ebert y Russell, 1993). Esto último, se realiza a partir de la información que en las pesquerías establecidas proviene generalmente de las propias capturas (Cota-Villavicencio *et al.*, 1996; Kalvas y Hendrix, 1997).

Para describir el crecimiento individual de los erizos de mar se emplean diversos modelos, entre los que se encuentran el de von Bertalanffy (también llamado Brody-Bertalanffy) (e.g. Gage, 1987, 1991 y 1992; Chiu, 1990; Lelevier-Grijalva y Palleiro-Nayar, 1987; Ebert, 1988; Freire *et al.*, 1992; Munk, 1992; Lumingas y Guillou, 1994; Smith *et al.*, 1998; Lamare y Mladenov, 2000), que fue diseñado para describir el crecimiento de los organismos basado en términos bioenergéticos (metabolismo); el modelo de Richards (e.g. Ebert, 1981 y 1988; Ebert y Ruseell, 1993; Lamare y Mladenov, 2000) y el de Tanaka (e.g. Ebert y Russell, 1993; Lamare y Mladenov, 2000), que son modificaciones del de Bertalanffy; el Sigmoidal (e.g. Gage, 1987), diseñado originalmente para describir crecimiento poblacional; y el de Gompertz (e.g. Gage, 1987), que es un modelo de la familia de los sigmoidales. Todos presentan variantes que se ajustan de manera diferente al crecimiento de las especies a las cuales se aplican. No existe a la fecha un modelo general para equinoideos (Ebert y Russell, 1993), sin embargo, de los modelos mencionados, el de von Bertalanffy es el más comúnmente usado (Ebert, 2001; Grosjean, 2001). Este modelo consiste en una curva, la cual describe en su inicio un crecimiento acelerado que gradualmente va disminuyendo hasta que se hace cero, es decir, que no excede una longitud asintótica (Grosjean, 2001). La rapidez con la que el organismo alcanza su longitud asintótica (L_{inf}) está dada por una constante de crecimiento, K, la tasa de crecimiento (Sparre y Venema, 1995).

Especies con valores altos de K, alcanzan la madurez a una edad corta, lo cual supone que una población bajo explotación puede recuperarse en corto plazo o que su cultivo no será muy prolongado. En erizos de mar, también implica que se producirán gónadas comerciables a edades jóvenes. Por ello, para poder realizar comparaciones entre las diferentes especies es importante homogenizar los métodos aplicados en la descripción de crecimiento. En México, por ejemplo, tradicionalmente se ha empleado el modelo simple de von Bertalanffy para el análisis del crecimiento individual en los estudios de biología pesquera (e.g. Lelevier-Grijalva y Palleiro-Nayar, 1987). La aplicación estandarizada de estos métodos ha permitido establecer medidas regulatorias adecuadas para el erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en diferentes áreas de pesca (Cañedo-López *et. al.*, 1999).

Actualmente, es muy reducido el conocimiento que se tiene acerca de la biología poblacional de *Echinometra vanbrunti*. Un estudio no publicado realizado por el Centro Regional de Investigación Pesquera de La Paz (CRIP-La Paz) en febrero de 1997, a petición de la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera “Bahía Magdalena”, evaluó los bancos naturales del erizo de mar *E. vanbrunti* en la Isla Magdalena. Las variables que se determinaron fueron la biomasa total y la disponible para la captura comercial, apoyados en la estructura de tallas, relaciones morfométricas, y densidad poblacional y distribución en el área. Se determinó una talla provisional mínima de captura de 65 mm de diámetro de testa, lo que representó una población explotable de 553,143 organismos, mismos que observaron un factor de rendimiento de 34.4 ind./kg de gónada fresca de erizo, equivaliendo a 16.2 toneladas de gónada y a 108.6 toneladas de erizo entero fresco. Cabe hacer la aclaración, que un estudio previo indicó que la calidad de las gónadas de este erizo es buena para el mercado (Antonio Masso, CRIP-La

Paz , com. pers. 2003). En otro estudio, Holguín-Quiñones *et al.* (2000), determinaron al erizo *E. vanbrunti* como el de mayor abundancia en la Bahía de Loreto, con una densidad promedio de 0.25 ind/m².

En el presente estudio, con el fin de contribuir al conocimiento del potencial de aprovechamiento de *Echinometra vanbrunti* en Baja California Sur, se examinan aspectos fundamentales de su biología poblacional, como son la estructura de tallas, las relaciones morfométricas, la tasa de crecimiento individual, la tasa de mortalidad natural y el patrón de reclutamiento en la localidad de Ensenada de Muertos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Describir y analizar la biología poblacional del erizo de mar *Echinometra vanbrunti* en Ensenada de Muertos, Baja California Sur, para proporcionar las bases para la evaluación de su potencial de aprovechamiento en la región.

3.2 Objetivos particulares

- a) Determinar la estructura de tallas de la población.
- b) Estimar la tasa de crecimiento individual y la tasa de mortalidad natural.
- c) Identificar los patrones de reclutamiento.
- d) Estimar la densidad poblacional.
- e) Estimar el rendimiento en biomasa por edad y por talla.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

El presente trabajo se realizó en el área conocida como Ensenada de Muertos, que se localiza en la parte sur ($24^{\circ} 01' N$, $109^{\circ} 48' W$) de la Península de Baja California; en el litoral oriental (dentro del Golfo de California; Figura 1), Es una zona batolítica denominada Bloque de los Cabos, formada de rocas graníticas, metamórficas y clásticas originadas en el Cretácico (Hausback, 1984). Desde un enfoque oceanográfico esta es una zona transicional del Océano Pacífico. En ella se mezclan cuatro cuerpos de agua: la Corriente de California, el agua Subtropical Superficial, el agua del Golfo de California y el agua Subtropical Subsuperficial. Las tres primeras afectan desde los 0 a los 150 m y la última de los 150 a los 500 m de profundidad (Alvarez-Sánchez *et al.*, 1978). La circulación de las aguas superficiales está muy ligada al patrón de vientos, el cual sigue predominantemente la dirección del noroeste durante el verano y la del sureste en el invierno (Lluch-Cota, 2000). La temperatura superficial del mar en esta área del golfo (boca) oscila a lo largo del año entre los 20° y los $31^{\circ} C$ (Soto-Mardones *et al.*, 1999).

El Golfo de California presenta una suave pendiente respecto al resto de la costa del Pacífico Mexicano, con lo cual amplía la disponibilidad y diversidad de substratos. Además, esta área es influenciada por la transición de dos subprovincias zoogeográficas, haciendo de la región un punto de alta riqueza de invertebrados bentónicos, incluidos los equinodermos (Maluf, 1988; Solís-Marín *et al.*, 1997).

En particular, el sitio presenta un borde rocoso muy irregular formado de grandes bloques y canto rodado, los cuales se extienden en algunos puntos hasta una

profundidad de 7 m, mas allá de la cual se llega a una planicie arenosa que se prolonga hacia la profundidad. Durante la marea baja se descubre una comunidad coralina compuesta principalmente por el género *Pocillopora* spp. (Reyes-Bonilla y Calderón-Aguilera, 1999) y numerosas pozas de marea que proveen de albergue a una amplia variedad de invertebrados.

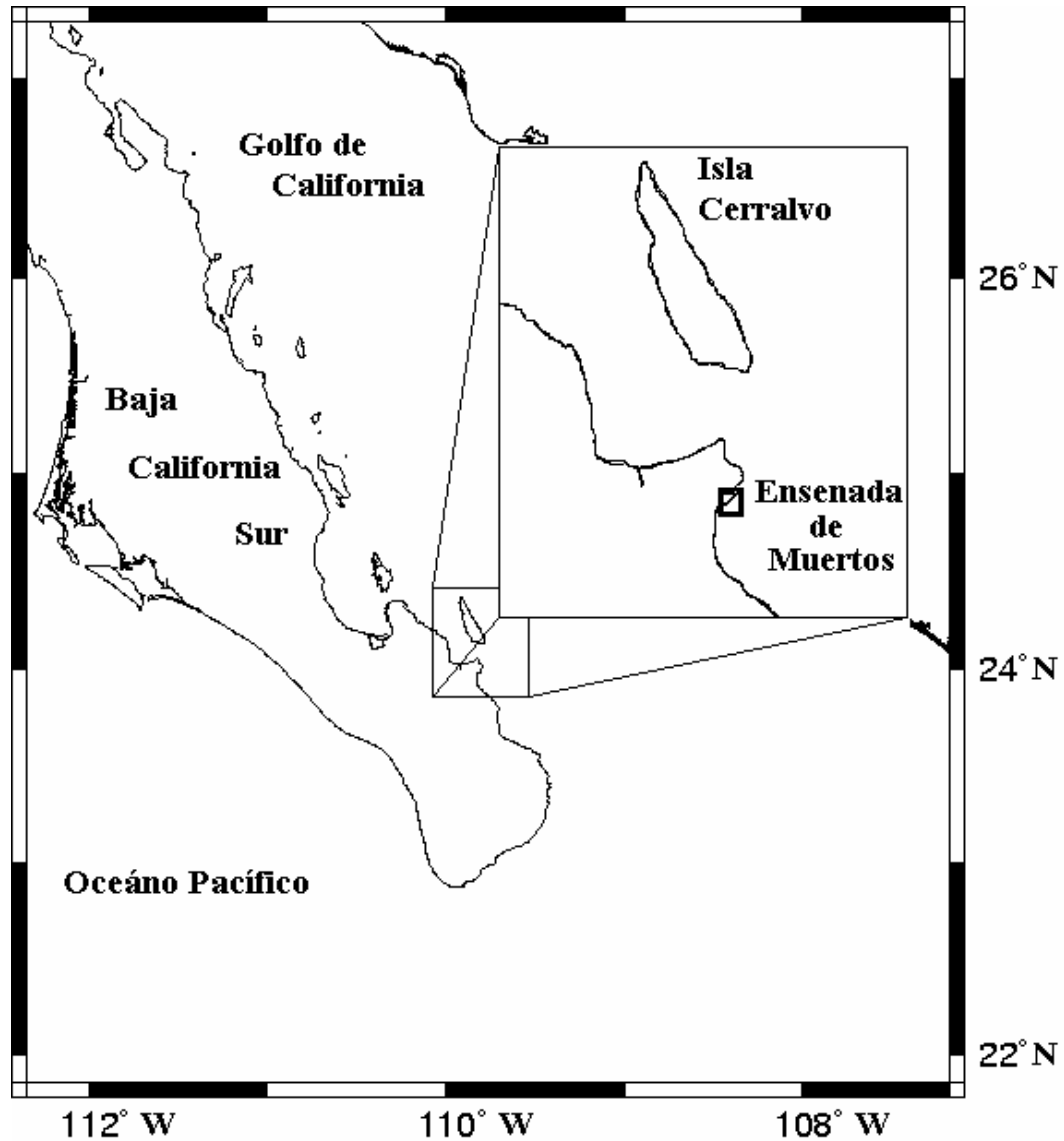


Figura 1. Localización del área de estudio.

4.2 Trabajo de campo

Se realizaron muestreos mensuales de la población de *E. vanbrunti* en Ensenada de Muertos, desde marzo del 2001 hasta noviembre del 2002. En cada campaña se midió el mayor número posible de organismos para obtener la estructura de tallas de la población y derivar los parámetros de crecimiento y mortalidad de la especie. Los erizos fueron colectados al azar de la zona intermareal y submareal, desprendiéndolos del sustrato mediante una barra metálica usada a modo de palanca, y colocándolos en bolsas de colecta para ser medidos fuera del agua. Se midió el diámetro de la testa de cada individuo (en la región del ambitus) mediante un calibrador Vernier (precisión ± 0.1 cm). Una vez medidos, los organismos fueron devueltos en lo posible al lugar original de donde se tomaron, tratando de afectar al mínimo su distribución natural.

Para la estimación de densidad poblacional se realizaron censos mensuales de los individuos mediante transectos lineales de 25 m de largo por 2 m de ancho (50 m^2) en la zona submareal, y cuadrantes de 1 m^2 en el intermareal. Los transectos fueron colocados en la zona submareal a diferentes niveles de profundidad, tanto en forma paralela como perpendicular respecto a la línea de la costa. Por su parte, los cuadrantes se colocaron en la zona intermareal, desde el nivel más bajo de marea hasta el más alto durante la marea baja. La fecha y hora de las mareas bajas se determinaron con el programa MAR V0.5 del CICESE (Depto. Oceanografía Física).

La forma de estimar la densidad fue diferente para el intermareal y el submareal. En la zona intermareal se tiene la limitante de la corta duración de la marea baja y la hora en la que ésta se presenta (a veces de madrugada), por lo que se requiere de una unidad de menor tamaño y de rápida aplicación para realizar los censos. En el submareal, la forma más práctica de censar a los individuos fue utilizando los

transectos, debido en gran parte al constante movimiento del agua en la zona donde se encuentran los erizos.

Para la determinación de la estructura de tallas en peso y relaciones morfométricas, se colectó un total de 606 erizos entre marzo del 2001 y abril del 2002 (en promedio 46 por salida), los cuales fueron llevados al laboratorio donde se les midió el diámetro, usando un calibrador Vernier (precisión ± 0.1 cm), y se obtuvieron registros del peso total, peso drenado y peso de la gónada, mediante una balanza electrónica (precisión ± 1 g). Para obtener el peso drenado fue necesario disectar a los organismos, cortando la membrana peristomal (parte oral) y retirando la linterna de Aristóteles. Después, con la parte oral orientada hacia abajo se dejaron drenar por aproximadamente 10 minutos antes del pesado, donde se consideró también el peso de la linterna de Aristóteles. Finalmente, las testas de los organismos fueron abiertas para extraer sus gónadas, las cuales también fueron pesadas.

4.3 Análisis de datos

A partir de los datos tomados en campo se obtuvieron las medidas de tendencia central y dispersión de la población (media, mediana y error típico). La moda se obtuvo de los datos agrupados en los intervalos de clase de 3 mm.

Se determinó si existía diferencia significativa entre los muestreos para los diámetros y pesos drenado y total, mediante un análisis de varianza paramétrico (ANDEVA) de una vía.

4.3.1 Estructura de tallas de la población

Se ilustró la estructura de tallas de la población (diámetros de testa y peso), mediante la elaboración de histogramas de frecuencia, con intervalos de clase de 3 mm de diámetro y 10 g, respectivamente. Esto se hizo para cada mes y en forma anual.

4.3.2 Relaciones morfométricas

Con base en el modelo alométrico general (Ec. 2; Sparre y Venema, 1995), se calculó la relación entre diámetro y distintas estimaciones de peso: peso total (W_T); peso drenado (W_D); y peso de la gónada (W_G). Los modelos fueron ajustados por el método iterativo no lineal propuesto por Marquardt (1963). Estas relaciones son de gran importancia para planear el manejo del recurso, ya que a partir de ellas se puede estimar la biomasa utilizando la distribución de frecuencia de tallas y la densidad (E.g. Kenner, 1992; Munk, 1992).

$$W = a L^b \quad (2)$$

donde:

$$W = \text{Peso (g)}$$

a = Ordenada al origen o factor de condición

L = Diámetro de la testa del erizo (mm)

b = Pendiente de la curva (factor alométrico)

4.3.3 Estimación de los parámetros poblacionales

Se calcularon los parámetros poblacionales de tasa de crecimiento individual, tasa de mortalidad natural, y reclutamiento, utilizando las rutinas del programa FiSAT, preparado por FAO e ICLARM (Gayanilo *et al.*, 1994).

4.3.3.1 Crecimiento individual

Para modelar el crecimiento de *E. vanbrunti* se siguió el modelo de von Bertalanffy, que se ha aplicado satisfactoriamente en equinoideos (Grosjean, 2001). Para ello se requiere del cálculo de dos parámetros, estos son L_{inf} o longitud asintótica, considerada aquí como el diámetro promedio de un organismo muy viejo, y el coeficiente de crecimiento K, el cual es la velocidad a la cual el organismo crece o su tasa de crecimiento.

Con el fin de obtener la mejor representación en las estructuras de talla de la población, los datos fueron probados en matrices de frecuencia de talla de diferente amplitud, estos fueron: 2, 3, 4 y 5 mm de diámetro de testa. Una vez hecho lo anterior, y debido al bajo tamaño de muestra en algunos de los meses de muestreo, los datos fueron reagrupados mediante ensayos de manipulación de acuerdo al método recomendado por Sparre y Venema (1995) para obtener la mejor representación en las estructuras de talla, en función al balance entre el número de muestra y su aportación al análisis. Una vez

realizado lo anterior, se consideraron 11 grupos de datos de los 18 originales, con números de muestra que fluctuaron de 99 a 308 individuos.

En el programa FiSAT se empleó la rutina de Powell-Wetheral para estimar L_{inf} , mientras que con el módulo ELEFAN se calculó K . Estos primeros estimados de los parámetros se emplearon en la rutina de búsqueda automática (ARS, Automatic Search Routine) del módulo ELEFAN, rutina que tiene la ventaja de buscar los parámetros que mejor se ajustan a los datos observados, además, integra dos parámetros adicionales al modelo de crecimiento. Estos términos producen oscilaciones estacionales de la tasa de crecimiento, mediante cambios del “*parámetro de condición inicial*” (Sparre y Venema, 1995), también llamado *t-cero* (t_0 , es la longitud en edad cero), durante el año. Resultando en la ecuación de von Bertalanffy estacionalizada (Ec. 4); el parámetro “*tv*”, se denomina *Punto de Verano*, considerado la parte del año en la cual la tasa de crecimiento es máxima, y el parámetro llamado *Amplitud* (C), Ambos toman valores entre 0 y 1; si $C = 0$ implica que la tasa de crecimiento no tiene estacionalidad, por otro lado, mientras más alto es el valor de C , más pronunciadas serán las oscilaciones estacionales. El parámetro llamado *Punto de Invierno* (“*ti*”) se considera el punto donde la tasa de crecimiento es mínima, y es definido como: $t_i = t_v - 0.5$

Con esto se generó la curva de crecimiento de von Bertalanffy siguiendo las ecuaciones en su forma simple (Ec. 3) y estacionalizada (Ec. 4):

$$L_{(t)} = L_{inf} (1 - \exp^{-K(t-t_0)}) \quad (3)$$

$$L_{(t)} = L_{inf} (1 - \exp^{(-K * (t - t_0) - (CK / 2 \pi) * \text{seno}(2 \pi * (t - t_v)))}) \quad (4)$$

donde:

$L_{(t)}$ = Diámetro estimado a un tiempo t (años)

L_{inf} = Diámetro asintótico (mm)

K = Constante de crecimiento

t_0 = longitud en edad cero

C = Amplitud de las oscilaciones anuales en el crecimiento

t_v = Punto de verano

Se calculó el índice de bondad de ajuste no paramétrico llamado R_n , que permite evaluar el desempeño de los parámetros estimados. El índice resulta de la razón de la suma de máximos explicada y la suma de máximos disponible ($R_n = \text{SME}/\text{SMD}$), lo cual implica que valores mayores son mejores indicadores de ajuste. Además, con esta misma rutina (ASR) se puede observar gráficamente como la curva del modelo de crecimiento se intercepta con las distribuciones de frecuencia de talla (observadas o reestructuradas) en los puntos donde se supone existen grupos de tallas que representan grupos de edad. Lo anterior resulta ventajoso, ya que estos puntos pueden compararse con las modas o grupos de edades detectados por otros métodos. Para hacer estas comparaciones se empleó el programa SiZer (*Significance of Zero Crossings of the Derivative*) y la rutina NORSEP (Bhattacharya) del módulo de Progresión Modal del FiSAT. Las modas obtenidas previamente, fueron clasificadas en una escala subjetiva que asigna cuatro criterios de confiabilidad: Alta, media, baja y mínima, y se comparó su grado de coincidencia con la curva de crecimiento usando los parámetros descritos.

Una vez obtenidos los valores definitivos de L_{inf} y K se estimó la t_0 mediante el método gráfico de von Bertalanffy (Saparré y Venema, 1995).

Debido a que el método ASR no proporciona intervalos de confianza en el valor de longitud infinita (L_{inf}), se considero el intervalo de la rutina de predicción de máxima longitud a partir de los valores extremos observados al 95% de confianza (Prediction of the Maximum Length From Extreme Values).

Utilizando la relación diámetro-peso total, se transformó la longitud infinita (L_{inf}) a peso infinito (W_{inf}), generando así el modelo de crecimiento en peso (e.g. Sparre y Venema, 1995). La ecuación de crecimiento en peso fue:

$$W_{(t)} = W_{inf} (1 - \exp^{-k(t-t_0)})^b \quad (5)$$

donde:

$W_{(t)}$ = Peso estimado a un tiempo t (años)

W_{inf} = Peso asintótico (g)

b = Pendiente de la curva (factor alométrico) de la relación diámetro-peso

4.3.3.2 Estructura de edades relativas de la población

Una vez obtenidos los valores definitivos de los parámetros de crecimiento, se estimó la edad relativa a partir del diámetro de cada uno de los individuos registrados durante el estudio. Para ello se aplicó la ecuación inversa de von Bertalanffy (Ec. 6).

$$t(L) = t_0 - (1/K) * \ln (1 - (L/L_{inf})) \quad (6)$$

donde:

$t(L)$ = Edad al diámetro L (mm)

L = Diámetro de la testa (mm)

Las edades estimadas fueron representadas mediante histogramas de frecuencia anual con el fin de mostrar la estructura de edades relativas de la población.

4.3.3.3 Mortalidad

La tasa de mortalidad se estimó aplicando la rutina de curva de captura (Length-converted catch curve method) y el método de Powell-Wetherall del programa FiSAT. Como datos de entrada se usó la matriz de datos de frecuencia de tallas con intervalos de clase de 3 mm, ya que ofreció la mejor estructura para la obtención de los parámetros de crecimiento. Adicionalmente, se estimó la mortalidad en hoja de cálculo usando los métodos de Curva de Captura linealizada (basada en datos de la composición de tallas), el método de Jones y van Zalinge o curva de captura acumulada, la ecuación de Beverton y Holt basada en tallas (Ec. 7), y la ecuación empírica de Pauly (Ec. 8). Los primeros dos métodos utilizan la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy y los parámetros L_{inf} y K estimados, para convertir tallas observadas en edades. El tercer método, estima Z a partir de la talla media (L media) de los organismos en la estructura de tallas (referida como captura en el manual) y de los parámetros L_{inf} y K , por ello la exigencia de información es menor que la requerida en los métodos de curva de captura (ver Sparre y Venema, 1995). Por su parte, la ecuación empírica de Pauly requiere solamente de los parámetros de crecimiento (L_{inf} y K), y la temperatura media anual superficial del mar (en grados centígrados) del área de estudio.

$$Z = K * ((L_{inf} - L \text{ media}) / (L \text{ media} - L')) \quad (7)$$

donde:

L media = la talla media de los erizos de diámetro L' y más grandes (54 mm de diámetro de testa)

L' = Limite inferior de la marca de clase que presentó la mayor cantidad de erizos (en este caso fue de 48 mm de diámetro de testa).

$$\ln M = -0.0152 - 0.279 * \ln L_{inf} + 0.6543 * \ln K + 0.463 * \ln T \quad (8)$$

donde:

M = Tasa de mortalidad natural de la población

L_{inf} = Diámetro asintótico (mm)

K = Constante de crecimiento

T = Temperatura promedio anual en el sitio de muestreo, 25 ° C (obtenido del CD “Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Series” de la Agencia Oceanografica y atmosférica de los Estados Unidos, NOAA, 1960-1990).

A excepción de la ecuación de Pauly, los métodos indicados anteriormente fueron diseñados para estimar la mortalidad total ($Z = F + M$). No obstante, en ausencia de mortalidad por pesca (F), Z se consideró como la tasa de mortalidad natural (M).

Una vez obtenidas las tasas de mortalidad, se construyó la gráfica de sobrevivencia, estimando los valores necesarios con el modelo de extinción exponencial (Ec. 9).

$$N_t = N_0 * e^{-Mt} \quad (9)$$

donde:

N_t = Número de individuos sobrevivientes al tiempo t

N_0 = Numero inicial de individuos de la cohorte, en este caso, $N_0 = 100$, para estimar el porcentaje de sobrevivencia.

M = Tasa de mortalidad natural

t = edad de la cohorte en años

4.3.3.4 Reclutamiento

Es pertinente aclarar en este punto que en los erizos después de que la larva se ha asentado y completado su metamorfosis se considera reclutada a la población (Mc Edward y Miner, 2001); no obstante, los reclutas son muy pequeños para ser detectados. Por ello, la talla de reclutamiento es definida como la media de la primer moda que aparece en la distribución de frecuencia de tallas (Ebert, 1987), la cual presenta un retraso de algunos meses respecto a la fecha de asentamiento. Así, la estructura de tallas mensuales fue analizada visualmente, tratando de identificar la aparición de grupos o modas de individuos de tallas pequeñas, indicativo de la presencia de reclutas (e.g. Cameron y Shroeter, 1980; Tegner y Dayton, 1981). Por su parte, y con el fin de determinar el tiempo cuando ocurrieron los reclutamientos, se determinó el tiempo de retraso a partir del cual se calculó la edad correspondiente a los valores medios de las primeras modas que se presentan en la estructura de tallas, mediante la aplicación de la ecuación inversa de von Bertalanffy (Ec. 6), donde se consideró L como el diámetro promedio de la moda. Las modas seleccionadas para este fin fueron las de abril del 2001 y marzo del 2002, por ser las primeras en cada uno de los años en las que se observaron organismos pequeños (de entre 4 y 16 mm de diámetro de testa), además por presentar un grado alto de confiabilidad por estar claramente separadas del resto de las modas. Para estimar el tiempo o intervalo de duración de la temporada de reclutamiento, el proceso anterior se repitió usando los extremos de las curvas de donde se obtuvieron las modas. Una vez calculadas las edades correspondientes a estas modas, se estimaron los meses

aproximados del reclutamiento en la población, así como la duración de este evento en cada año.

Con la finalidad de entender algunos aspectos asociados al proceso de reclutamiento, se tomó en consideración información biológica referente a los grados de madurez de la gónada e índice gonadosomático (Lara-Rueda en proceso). También, información sobre la temperatura y la disponibilidad de alimento para las larvas y/o erizos recién asentados. La temperatura promedio mensual se tomó de dos fuentes, una fue información satelital del promedio mensual de la temperatura superficial del mar para la región de la boca del Golfo de California durante un año típico (<http://www.pfeg.noaa.gov/>) y la otra fue a partir de promedios mensuales registrados durante el mismo período en la región sur de La Bahía de la Paz. Para determinar la disponibilidad de alimento para larvas y juveniles, se tomó como indicador la concentración media mensual de pigmentos fotosintéticos (clorofila a mg/m^3 ; García-Cuéllar *et al.*, 2004) desde enero del 2000 hasta diciembre del 2003. Esto último se obtuvo partir de imágenes de satélite del SeaWIFS Project, NASA/Goddard Space Fligth Center y ORBIMAGE (<http://seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS.html>).

4.3.4 Densidad poblacional

La densidad de individuos en el intermareal y submareal fue comparada mediante una prueba t de *Student* (para varianzas desiguales).

4.3.5 Rendimiento en biomasa

A partir del modelo de crecimiento en peso de von Bertalanffy y de la curva de sobrevivencia, se estimó el rendimiento en biomasa teórico (B_t), tanto para la edad

como para la talla de *E. vanbrunti* (Carmona *et al.*, 1994, Csirke, 1998). Se obtuvo al multiplicar el peso individual en cada unidad de tiempo (años) del modelo de Bertalanffy (W_t), por el correspondiente número de individuos sobrevivientes (N_t) a la misma unidad de tiempo (Ec. 10). Lo anterior se simuló para un número inicial (N_0) de 1,000 individuos, y se estableció la correspondencia de los valores con su edad y talla.

$$B_t = W_t * N_t \quad (10)$$

5. RESULTADOS

5.1 Estructura de tallas de la población

5.1.1 Diámetros de la testa

La población de *E. vanbrunti* de Ensenada de Muertos estuvo formada por individuos con tallas de entre los 4 y los 73 mm de diámetro de testa, la talla promedio fue de 35.16 ± 17.45 mm (Tabla I). Los datos mensuales mostraron diferencias en cuanto a los valores de tendencia central. En particular destaca que en 6 de los muestreos la moda se presentó en valores muy bajos, inferiores a los 20 mm de diámetro de testa.

Tabla I. Medidas de tendencia central para el diámetro de *Echinometra vanbrunti*.

Fecha	N	Media	Mediana	Moda	Desv. Est.	Mín.	Máx.
Abril 7, 2001	137	26.49	27	8	18.41	4	65
Mayo 8, 2001	96	39.09	46	56	18.97	7	68
Mayo 24, 2001	100	18.51	11	11	15.94	4	69
Junio 9, 2001	148	38.78	44	47	15.39	7	64
Julio 7, 2001	55	42.92	44	44	6.27	30	58
Agosto 21, 2001	49	41.72	43	48.5	11.70	5	64
Sep. 17, 2001	47	44.13	45	47	6.22	33	56
Octubre 15, 2001	41	48.11	49	47	9.48	20	62
Nov. 30, 2001	50	45.44	46	50	8.20	27	62
Dic. 15, 2001	49	48.40	49	51.5	7.95	28	62
Enero 29, 2002	40	47.73	47	47	6.54	34	65
Marzo 11, 2002	261	25.87	22	8	16.82	4	73
Abril 27, 2002	50	49.88	52	50	11.12	26	69
Mayo 11, 2002	205	22.08	13	8	17.21	4	65

Tabla I (continuación). Medidas de tendencia central para el diámetro de *Echinometra vanbrunti*.

Julio 14, 2002	222	42.29	47	53	15.67	6	67
Agosto 22, 2002	199	45.79	50	53	13.77	12	70
Sep. 28, 2002	205	33.52	36	14	17.70	8	65
Nov. 3, 2002	308	33.78	34	20	12.71	5	60
Total	2262	35.16	40	47	17.45	4	73

El análisis visual de los datos agrupados de manera anual (2001 y 2002) mostraron un patrón bimodal en su estructura de tallas (Figura 2). Los individuos que componen estas modas presentaron tallas próximas a los 8 y los 11 mm, y los 47 y los 50 mm de diámetro.

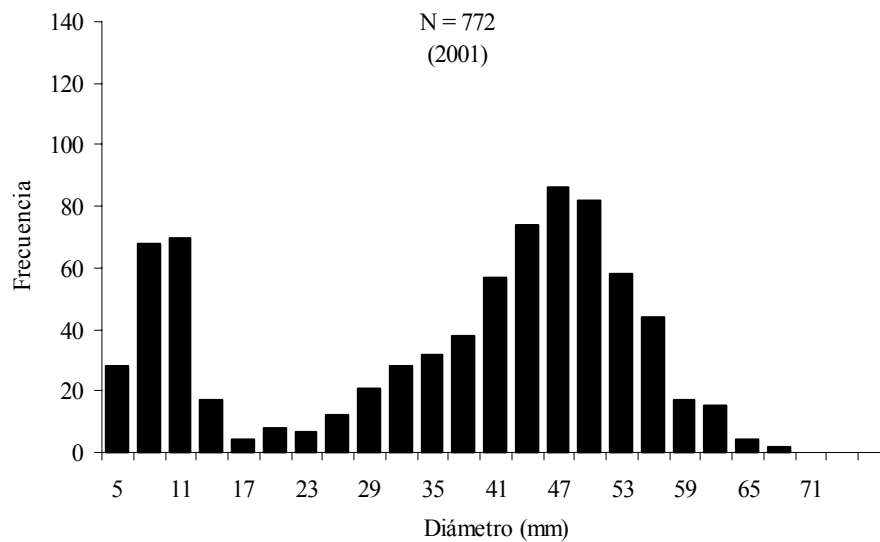


Figura 2. Estructuras de talla del erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos (2001 y 2002).

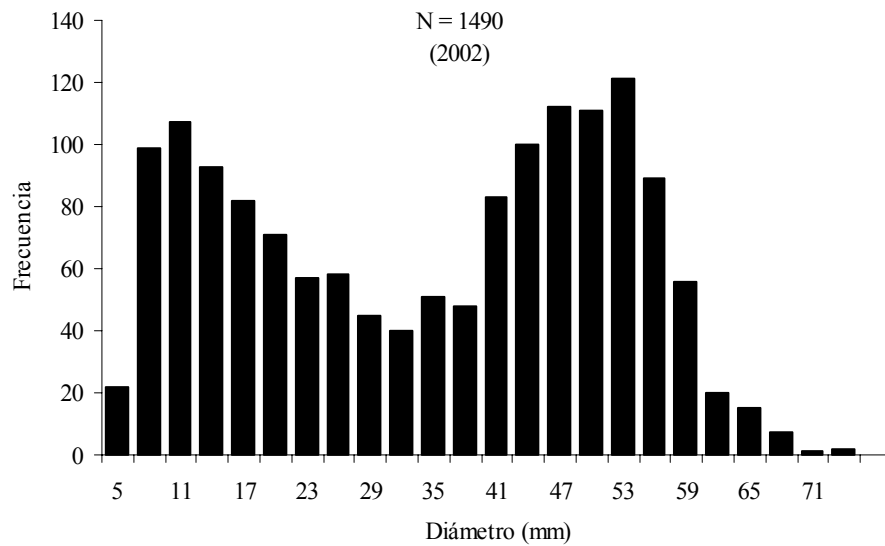


Figura 2 (continuación). Estructuras de talla del erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos (2001 y 2002).

El análisis visual de las gráficas de estructura de tallas mensual, indica que la aparición de los reclutas (individuos de menos de 20 mm de diámetro de testa) parece ocurrir de manera general a partir del mes de marzo, y se mantuvieron más o menos constantes hasta junio. Posterior a este período, estos individuos pierden representatividad en las distribuciones de tallas, en especial para el año 2001. El tamaño de muestra no se mantuvo constante (fluctuó entre los 40 y 308 individuos), y tuvo un efecto en el esquema o forma de la estructura de tallas, tendiendo al patrón bimodal en los meses mejor representados ($n < 96$; Figura 3).

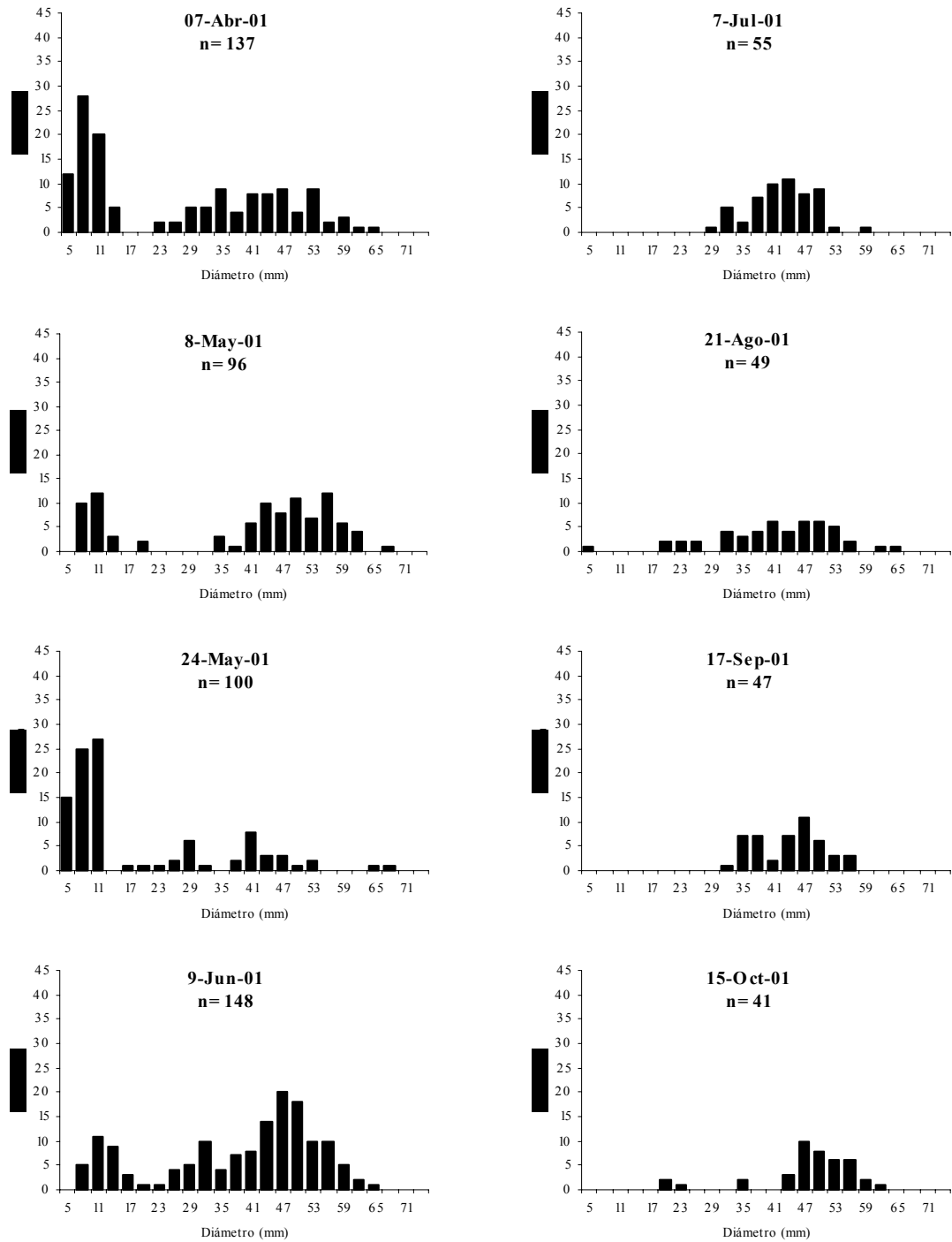


Figura 3. Distribución mensual de frecuencia de tallas (diámetro de testa en mm) del erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

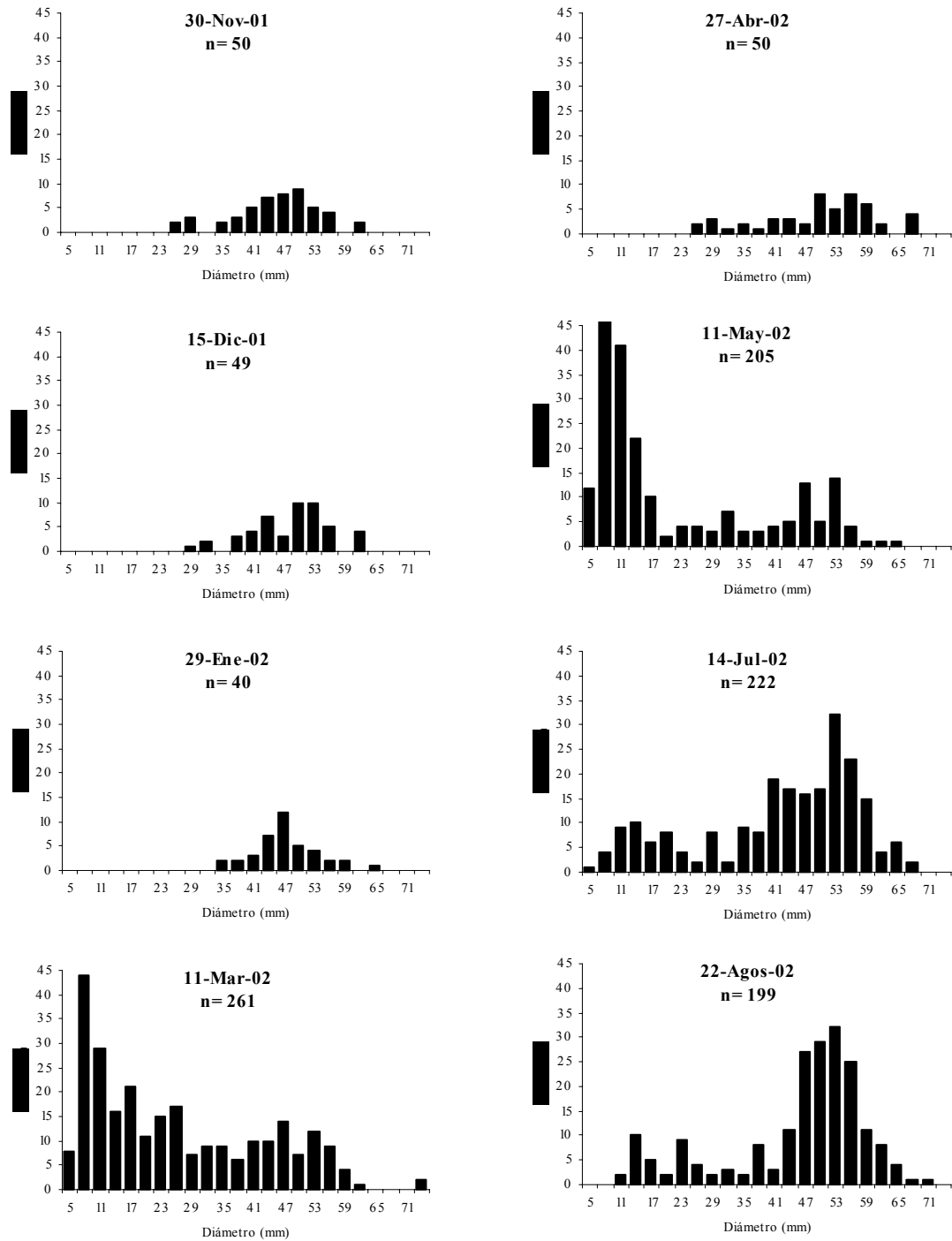


Figura 3 (continuación). Distribución mensual de frecuencia de tallas (diámetro de testa en mm) del erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

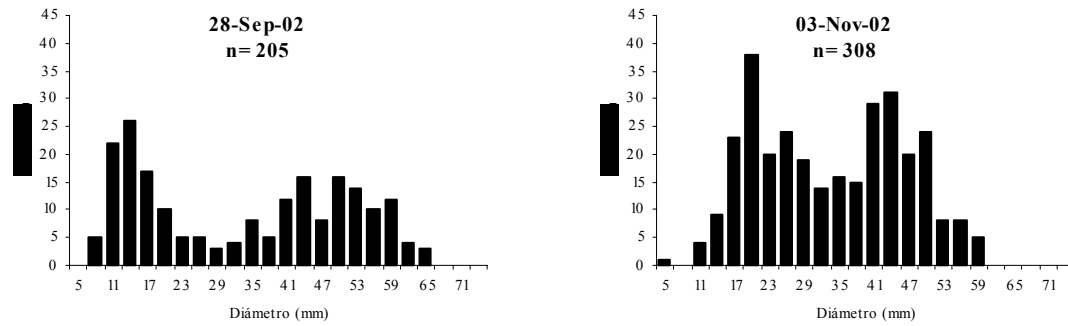


Figura 3 (continuación). Distribución mensual de frecuencia de tallas (diámetro de testa en mm) del erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

El análisis de varianza indicó diferencias significativas del diámetro de la testa entre los meses de muestreo ($P < 0.0001$; Tabla II). La prueba *a posteriori* de Tukey indicó que los erizos más pequeños (en promedio) se presentaron en abril y mayo del 2001, y en marzo y mayo del 2002, mientras que los más grandes en octubre, noviembre y diciembre del 2001 y enero, abril y agosto del 2002 (Tabla II).

Tabla II. Resultado del análisis de varianza aplicado a los diámetros y su prueba *a posteriori*.

Factor: Diámetro					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrado medio	<i>F</i>	P
Entre grupos	181078.5	17	10651.7	47.09	>0.001
Dentro de los grupos	507542.4	2244	226.2		
Total	688620.9	2261			

<i>a posteriori</i> Tukey				
Mes	N	Media	Grupos homogéneos	
May-2001b	100	18.5100	X	
May-2002	205	22.0790	X	
Mar-2002	261	25.8662	XX	
Abr-2001	137	26.4893	XX	
Sep-2002	205	33.5164	XX	
Nov-2002	308	33.7825	XX	
Jun-2001	148	38.7792	XX	
May-2001a	96	39.0866	XX	
Ago-2001	49	41.7224	XXX	
Jul-2002	222	42.2874	XX	
Jul-2001	55	42.9196	XX	
Sep-2001	47	44.1300	XX	
Nov-2001	50	45.4368	X	
Ago-2002	199	45.7940	X	
Ene-2002	40	47.7270	X	
Oct-2001	41	48.1105	X	
Dic-2001	49	48.3980	X	
Abr-2002	50	49.8790	X	

5.1.2 Pesos drenado y total

El peso drenado promedio estimado fue de 43.55 ± 20.71 g, con registros que van de los 4.2 a los 136.9 g (Tabla III). La población estuvo compuesta principalmente por individuos de los 35 a 45 gramos (Figura 4). Este mismo patrón se observó en el análisis visual de las distribuciones de frecuencia mensual de los pesos registrados (Figura 5). El análisis de varianza indicó diferencias significativas entre los pesos drenados mensuales ($F_{(15, 593)} = 4.33$; $P < 0.0001$). La prueba *a posteriori* de Tukey, indicó que en promedio los registros mayores de peso ocurrieron en abril del 2001 y diciembre del 2002, mientras que los valores menores se dieron en marzo del 2002 y julio del 2001 (Tabla IV).

Tabla III. Medidas de tendencia central para el peso drenado (g) de *Echinometra vanbrunti*.

Fecha	N	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Mín.	Máx.
Mar-01	40	39.23	35.95	35	19.37	8.61	89.12
Abr-01	47	40.54	41.10	45	21.52	9.19	104.71
May-01	44	47.21	43.09	35	15.90	13.62	82.68
Jun-01	44	46.19	44.83	45	21.85	9.87	106.50
Jul-01	55	37.56	33.60	35	15.53	13.70	76.10
Ago-01	49	44.51	41.20	45	27.59	4.20	136.90
Sep-01	47	38.69	40.30	45	15.13	16.10	76.70
Oct-01	41	46.45	45.60	45	17.74	5.40	87.00
Nov-01	50	39.94	38.85	35	16.06	10.10	87.40
Dic-01	49	54.81	55.20	55	21.46	11.20	106.40
Ene-02	40	46.11	44.05	45	15.86	19.70	84.50
Mar-02	50	34.05	32.80	35	19.74	9.80	105.70
Abr-02	50	52.19	52.80	70	26.71	8.40	113.40
Total	606	43.55	41.85	45	20.71	4.20	136.90

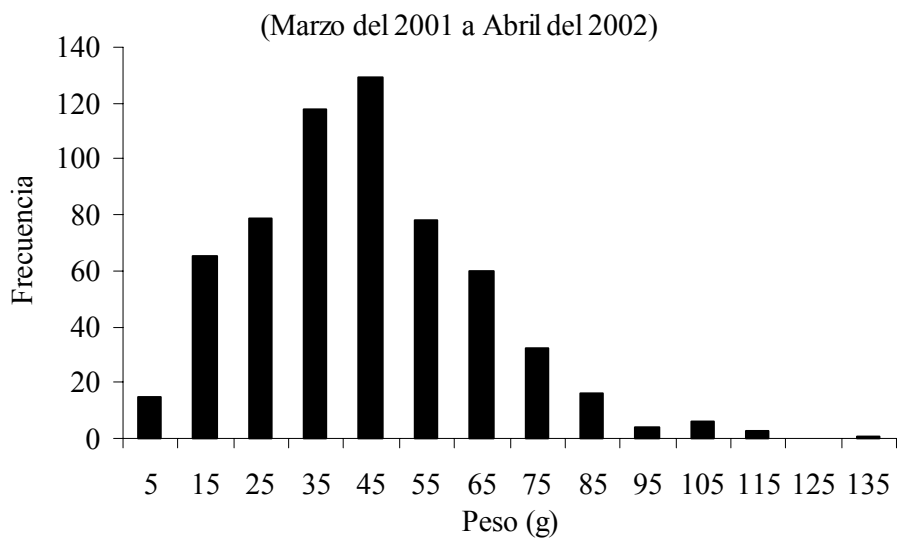


Figura 4. Peso drenado (g) del erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

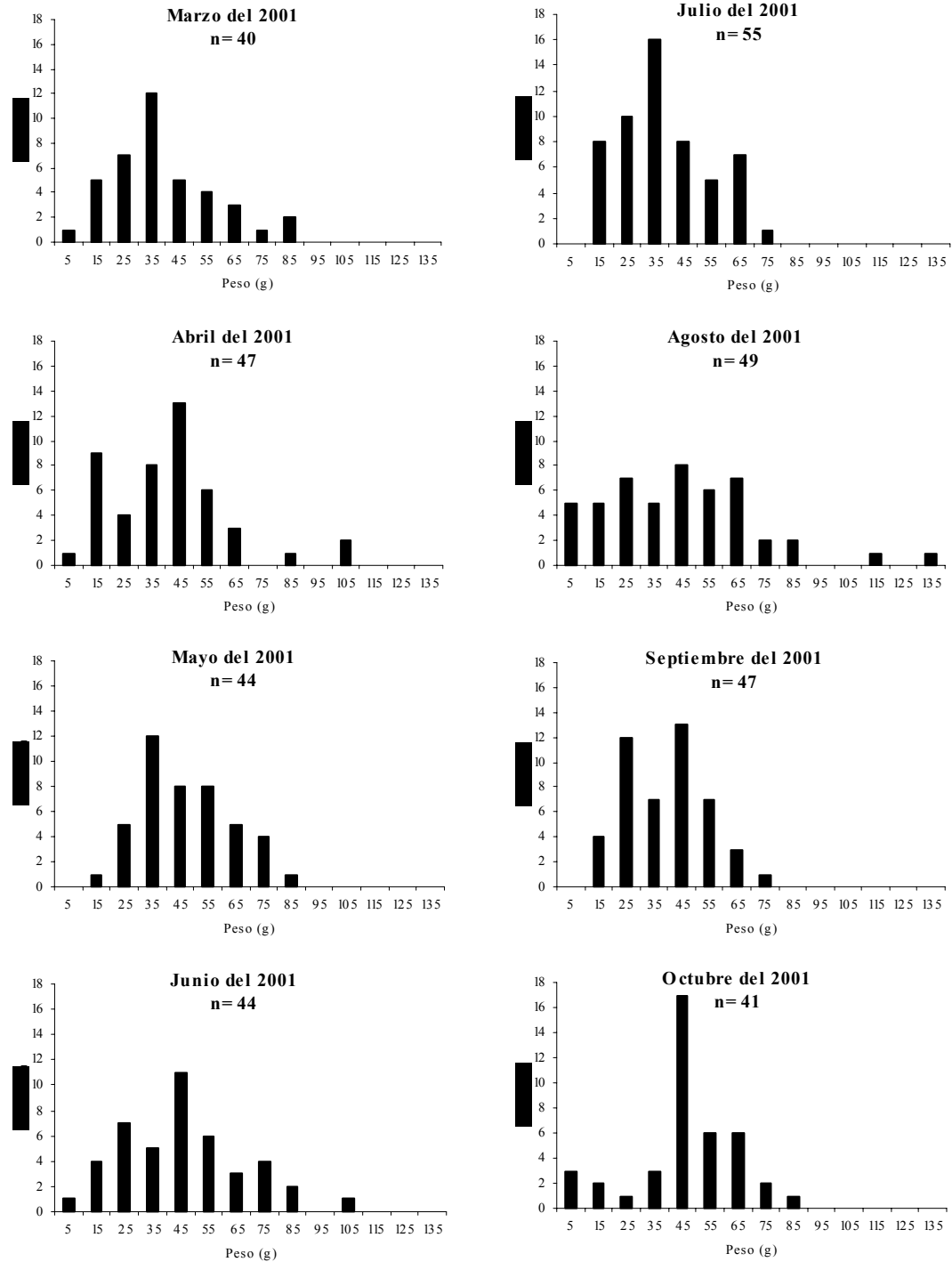


Figura 5. Peso drenado (g) mensual para el erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

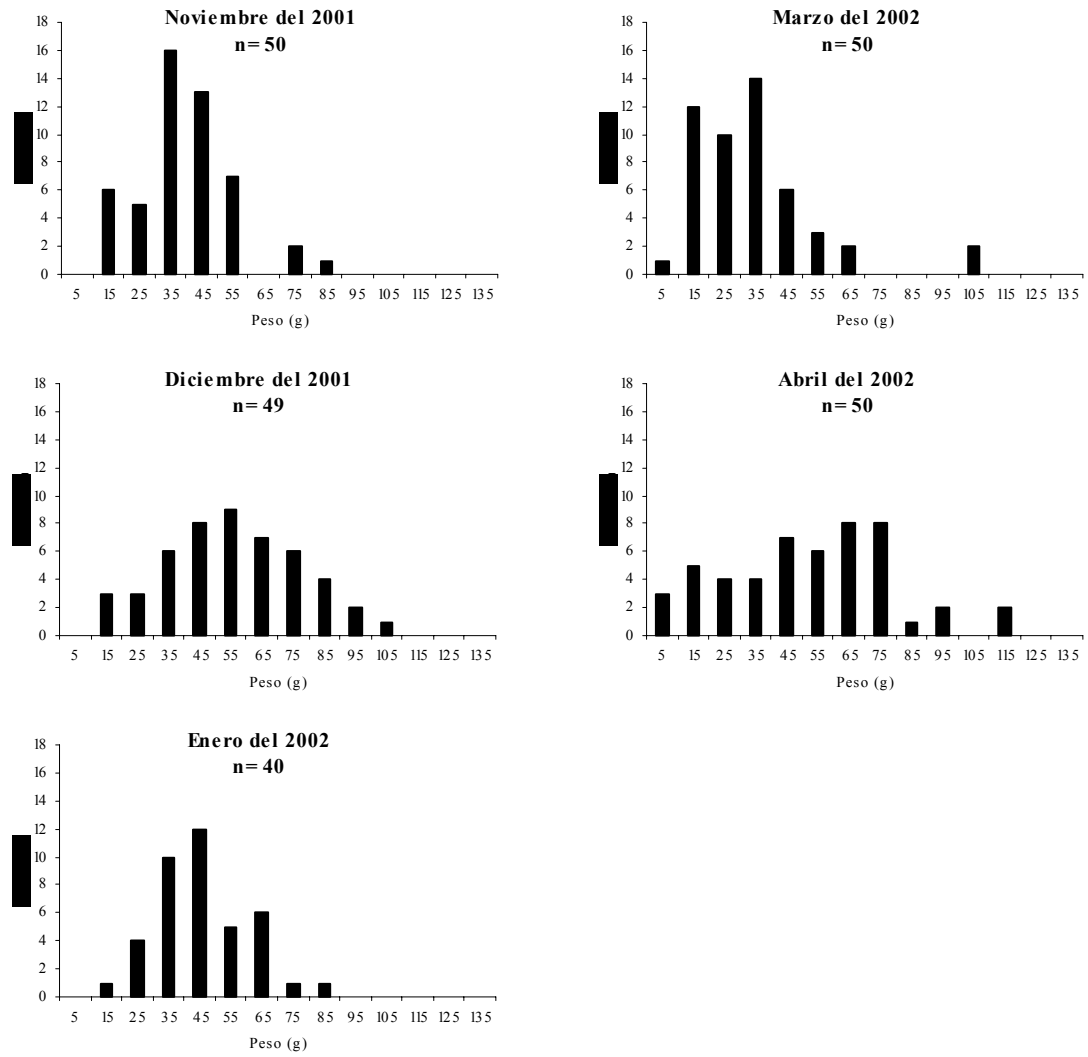


Figura 5 (continuación). Peso drenado (g) mensual para el erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

Tabla IV. Resultado del análisis de varianza aplicado a los pesos drenados y su prueba *a posteriori*.

Factor: Peso drenado					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrado medio	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	22920	12	1743.3	4.33	>0.001
Dentro de los grupos	238644	593	402.4		
Total	259564	605			

<i>a posteriori</i> Tukey				
Mes	N	Media	Grupos homogéneos	
Mar-02	50	34.05	X	
Jul-01	55	37.56	XX	
Sep-01	47	38.69	XXX	
Mar-01	40	39.23	XXXX	
Nov-01	50	39.94	XXXX	
Abr-01	47	40.54	XXXX	
Ago-01	49	44.51	XXXX	
Ene-02	40	46.10	XXX	
Jun-01	44	46.19	XXX	
Oct-01	41	46.45	XXX	
May-01	44	47.21	XXX	
Abr-02	50	52.19	XX	
Dic-01	49	54.81	X	

Respecto al peso total sólo se obtuvieron datos para los últimos 6 meses, dando un promedio de 55.53 ± 27.02 g con registros de los 5.9 a los 134.7 g (Tabla V). La distribución de pesos estuvo compuesta en su mayor parte por individuos con pesos de entre los 45 a los 55 gramos (Figura 6). Por su parte, el análisis visual de los datos mensuales no refleja un cambio muy notorio en la distribución de pesos (Figura 7). Sin

embargo, el análisis de varianza indicó diferencias significativas entre los pesos totales entre los meses ($F_{(5, 267)} = 6.85$; $P < 0.0001$). De manera general, los animales de menor peso se presentaron en marzo del 2002 y los de mayor peso en octubre y diciembre del 2001 y abril del 2002 (Tabla VI).

Tabla V. Medidas de tendencia central para el peso total (g) de *Echinometra vanbrunti*

Fecha	N	Media	Mediana	Moda	Desv. est.	Mín.	Máx.
Oct-01	41	59.63	60.40	65	23.41	5.90	110.10
Nov-01	43	47.96	47.40	45	20.47	11.00	110.20
Dic-01	49	66.10	66.40	45	27.45	12.30	134.70
Ene-02	40	56.38	53.85	55	20.68	22.50	114.80
Mar-02	50	40.47	38.40	15	24.85	10.90	134.70
Abr-02	50	62.73	62.85	75	33.00	9.30	132.20
Total	273	55.53	54.10	50	27.02	5.90	134.70

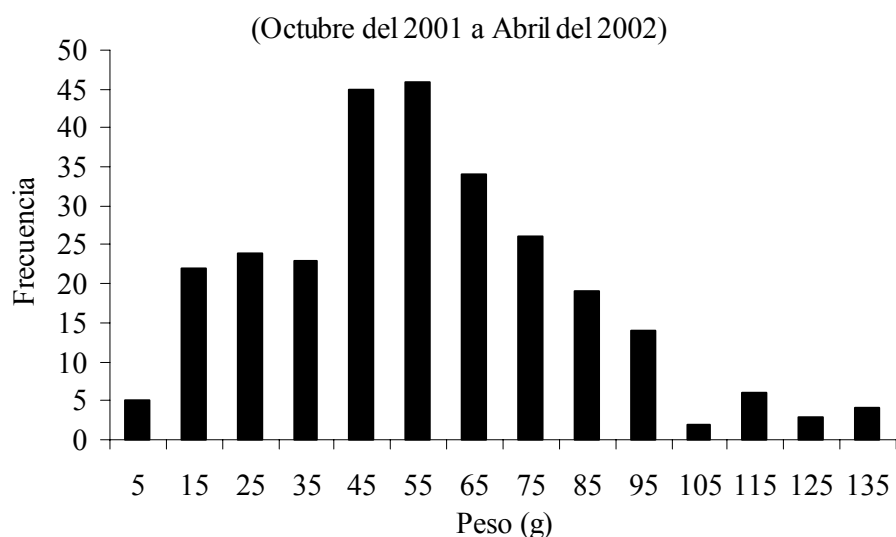


Figura 6. Peso total (g) del erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

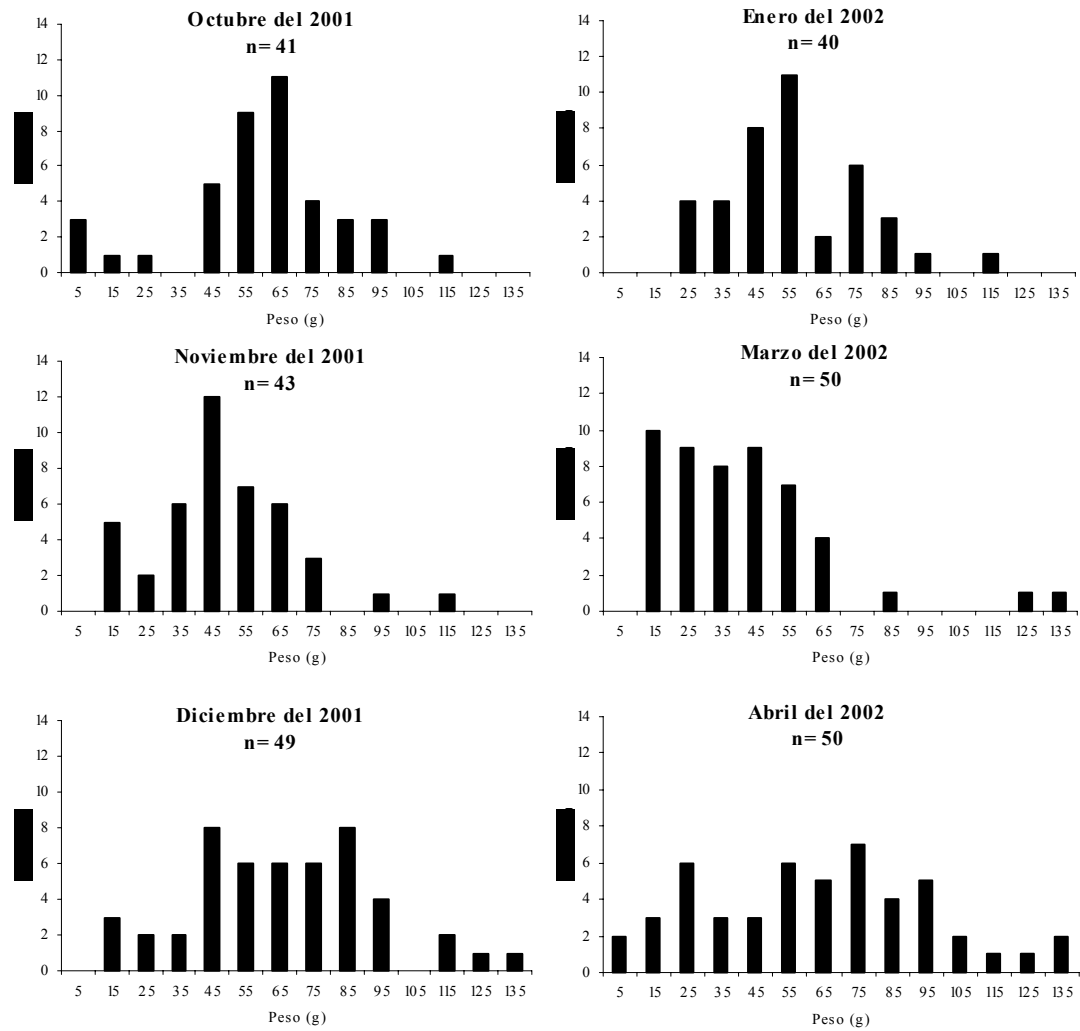


Figura 7. Peso total (g) mensual del erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

Tabla VI. Resultado del análisis de varianza aplicado a los pesos totales y su prueba *a posteriori*.

Factor: Peso total					
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrado medio	<i>F</i>	<i>P</i>
Entre grupos	22588.0	5	4517.6	6.85	>0.001
Dentro de los grupos	176009.0	267	659.2		
Total	198597.0	272			

<i>a posteriori</i> Tukey			
Mes	N	Media	Grupos homogéneos
Mar-02	50	40.47	X
Nov-01	43	47.96	XX
Ene-02	40	56.37	XX
Oct-01	41	59.63	X
Abr-02	50	62.73	X
Dic-01	49	66.10	X

5.2 Relaciones morfométricas

La relación del diámetro-peso drenado (W_D) fue significativa ($F_{(1, 604)} = 5284.8$; $P < 0.05$). Los datos siguieron un patrón muy bien definido en cuanto a la relación de estas dos variables, por lo que es bajo el grado de dispersión (Figura 8; $R^2 = 0.89$). El valor de la pendiente es indicador de una condición alométrica por ser menor a 3, y no estar dentro del intervalo de confianza de b . Por su parte, la relación diámetro-peso total (W_T), obtenida de 273 organismos (de los últimos 5 meses de muestreo), también fue significativa ($F_{(1, 271)} = 4096.9$; $P < 0.05$), e indicó, al igual que el modelo anterior, que

los individuos en el área de estudio crecen de manera alométrica ($b < 3$). El valor de la pendiente fue mayor en este modelo y presentó un ajuste alto (Figura 9; $R^2 = 0.938$).

La relación entre el diámetro y el peso de la gónada (W_G) presentó un bajo ajuste ($R^2 = 0.47$), no obstante ésta relación fue significativa ($F_{(1, 604)} = 536.4$; $P < 0.05$), y positiva, indicando que a medida que el erizo *E. vanbrunti* incrementa en talla se presentan gónadas más grandes (Figura 10).

Los valores de los parámetros obtenidos en los análisis de regresión (ordenada al origen y pendiente), presentaron una leve reducción en cuanto al valor de la pendiente al ser ajustados por el método iterativo; de manera general se presentó una disminución en las pendientes del orden de 2 centésimas. De esta manera las ecuaciones y sus gráficas quedaron de la siguiente forma:

Para la relación diámetro-peso drenado:

$$W_D = 0.00264 L^{2.43}$$

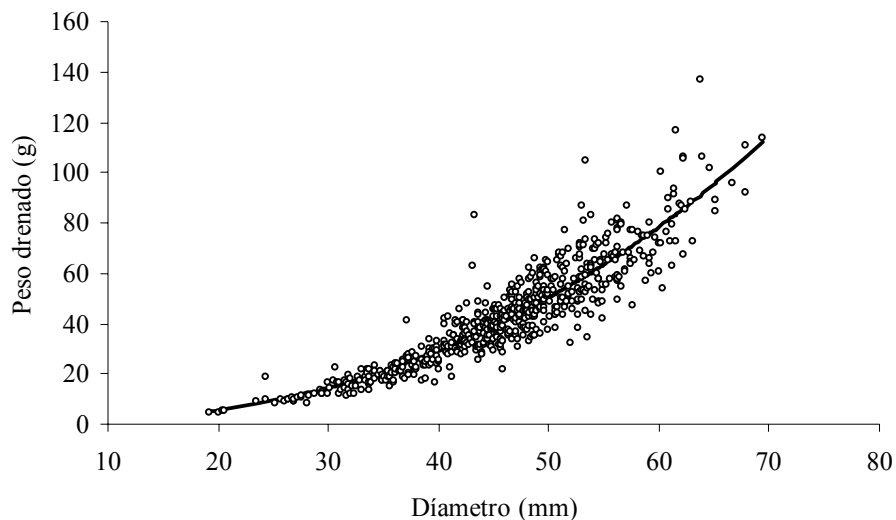


Figura 8. Relación diámetro-peso drenado para erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

Para la relación diámetro-peso total:

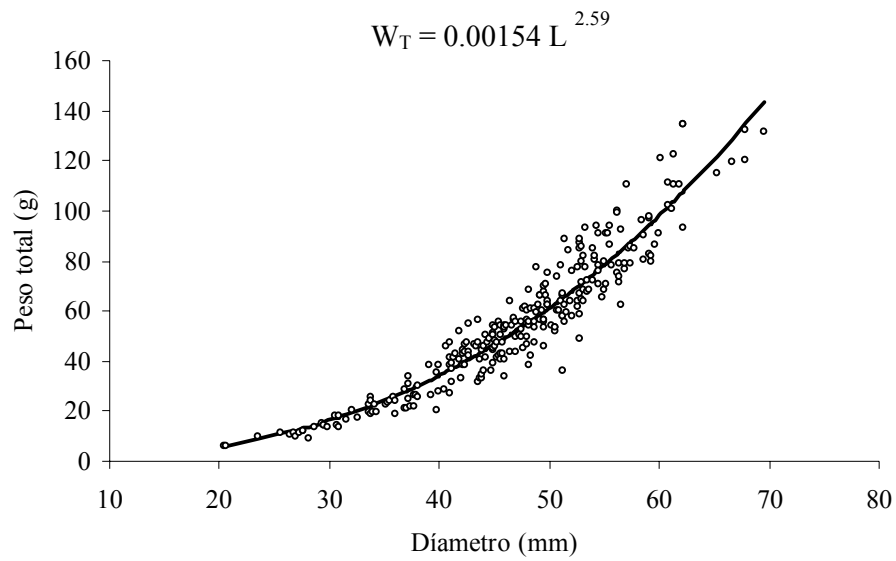


Figura 9. Relación diámetro-peso total para erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

Para la relación diámetro-peso de la gónada:

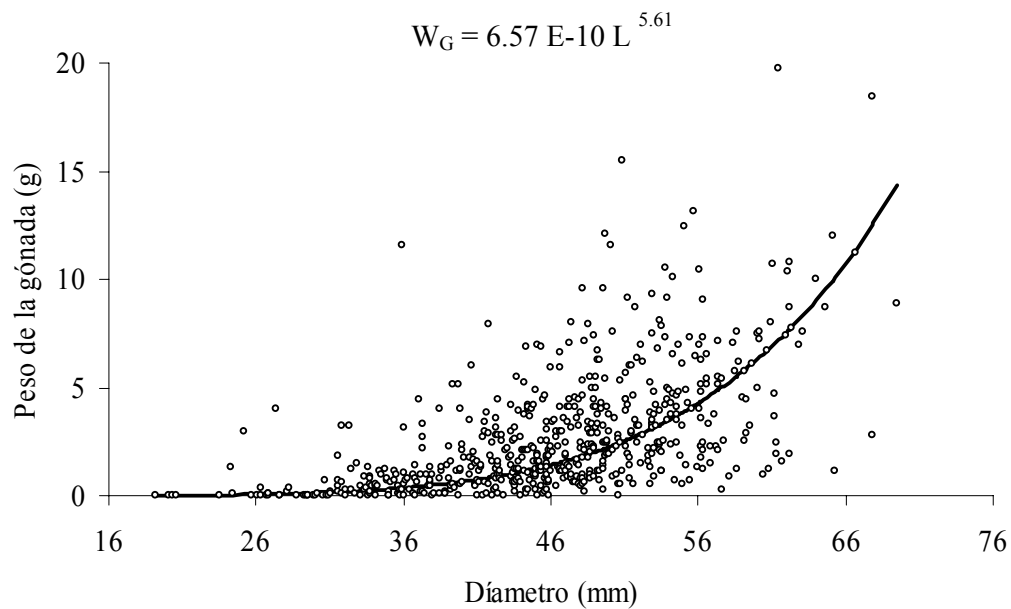


Figura 10. Relación diámetro-peso de la gónada para el erizo *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

Los valores estimados para la relación diámetro-peso total se encuentra dentro del rango de la de otros erizos (Tabla VII). Destaca la similitud con los estimados por el CRIP-La Paz para una población para el mismo erizo en una localidad de Bahía Magdalena .

Tabla VII. Relaciones diámetro-peso (total) estimadas para otros equinoideos (nd =no disponible).

Especie	a	b	r	Fuente
<i>E. vanbrunti</i>	0.0025	2.58	0.94	Este trabajo
<i>E. vanbrunti</i>	0.0025	2.61	0.89	CRIP-La Paz (1997)
<i>Diadema mexicanum</i>	1.08	2.46	0.93	Espino-Barr <i>et al.</i> , 1996
<i>S. franciscanus</i>	0.0005	2.97	0.92	Romero-Orozco y Bertsch, 1984
<i>S. franciscanus</i>	0.0096	2.34	nd	Cota-Villavicencio <i>et al.</i> , 1996c
<i>S. franciscanus</i>	0.0014	2.68	0.87	Kalvass y Hendrix, 1997
<i>S. droebachiensis</i>	0.0008	2.83	0.99	Munk, 1992
<i>Paracentrotus lividus</i>	0.0126	2.82	> 0.90	Cellario y Fenaux, 1990

Por su parte, el modelo diámetro-peso de la gónada indicó que las gónadas de *E. vanbrunti* de Ensenada de Muertos, son mucho más pequeñas que las de los individuos de Bahía Magdalena, B.C.S. (datos no publicados CRIP-La Paz), sin embargo al comparar con el modelo estimado sólo con los datos del mes de agosto, donde se presentaron los valores mayores en el índice gonádico (Lara-Rueda en proceso), es posible ver que dentro del Golfo de California es posible encontrar erizos con alto rendimiento en gónada (Figura 11).

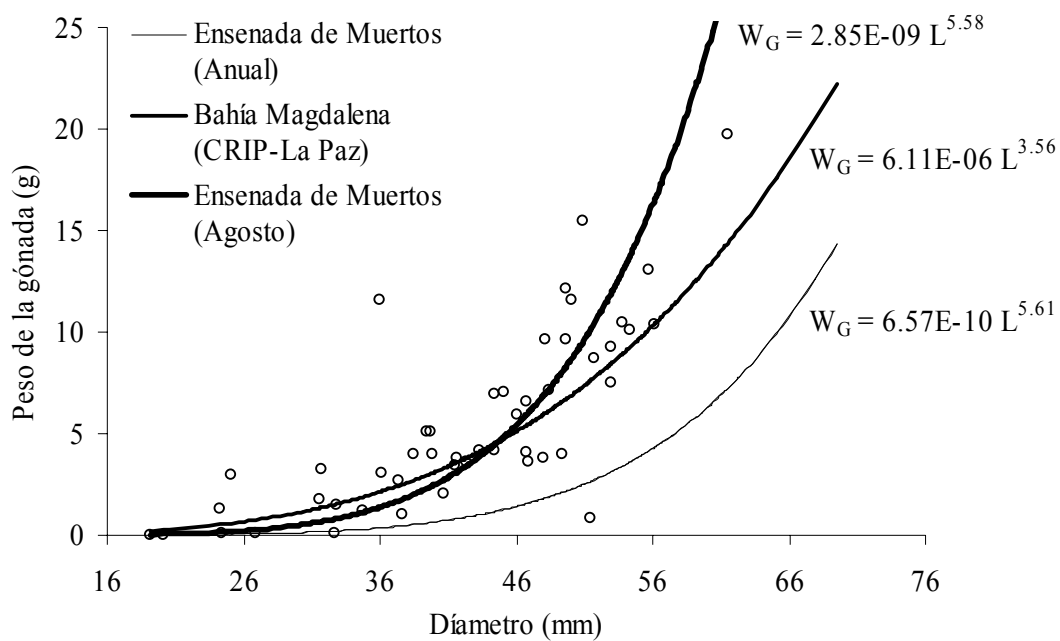


Figura 11. Modelos de la relación-diámetro peso de la gónada del erizo *Echinometra vanbrunti*, anual y para el mes de agosto, y la estimada para Bahía Magdalena (Datos de Bahía Magdalena no publicados, cortesía de Biol. Antonio Masso-Rojas, CRIP-La Paz).

5.3 Estimación de parámetros poblacionales

La mejor representación de la estructura de tallas para la estimación de los parámetros de crecimiento en el programa FiSAT, se consiguió empleando intervalos de clase de 3 mm de diámetro de testa.

Los parámetros L_{inf} , K , C y t_i , fueron evaluados usando los valores de las medias que representan grupos de edades estimados por los métodos Bhattacharya y el programa SiZer. Se detectó un mayor número de modas aplicando el método de Bhattacharya, sin embargo, muchas de éstas tuvieron un grado bajo de confiabilidad. De las 58 modas detectadas usando una matriz con intervalos de 2 mm, sólo 15 presentaron grado de alta confiabilidad (26 %), mientras que con intervalos de 3 mm se detectaron 50 modas, de las cuales 20 presentaron un grado alto de confiabilidad (40 %). Por otra parte, de las 46 modas detectadas por el programa SiZer, 23 presentaron un alto grado de confiabilidad (50 %). Pese a lo anterior, las modas detectadas por los métodos descritos (Bhattacharya y SiZer) coincidieron en su ubicación, en particular las de las tallas menores, que también fueron las más confiables (Figura 12). Las modas que representan a los juveniles que se reclutan cada año están próximas y es posible seguirlas por tres meses en 2001 y por seis en 2002.

Las intercepciones de la curva de crecimiento con la estructura de frecuencia de tallas presentada en la salida del programa FiSAT (ASR) que presentó mejor coincidencia con los puntos que tuvieron un grado alto y medio de confiabilidad tuvo los parámetros $L_{inf} = 77.58$ mm, $K = 0.36$ (año⁻¹), $C = 0.4$ y $t_i = 0.35$ y al igual que lo descrito anteriormente, la correspondencia fue mayor en las clases de tallas menores (Figura 13).

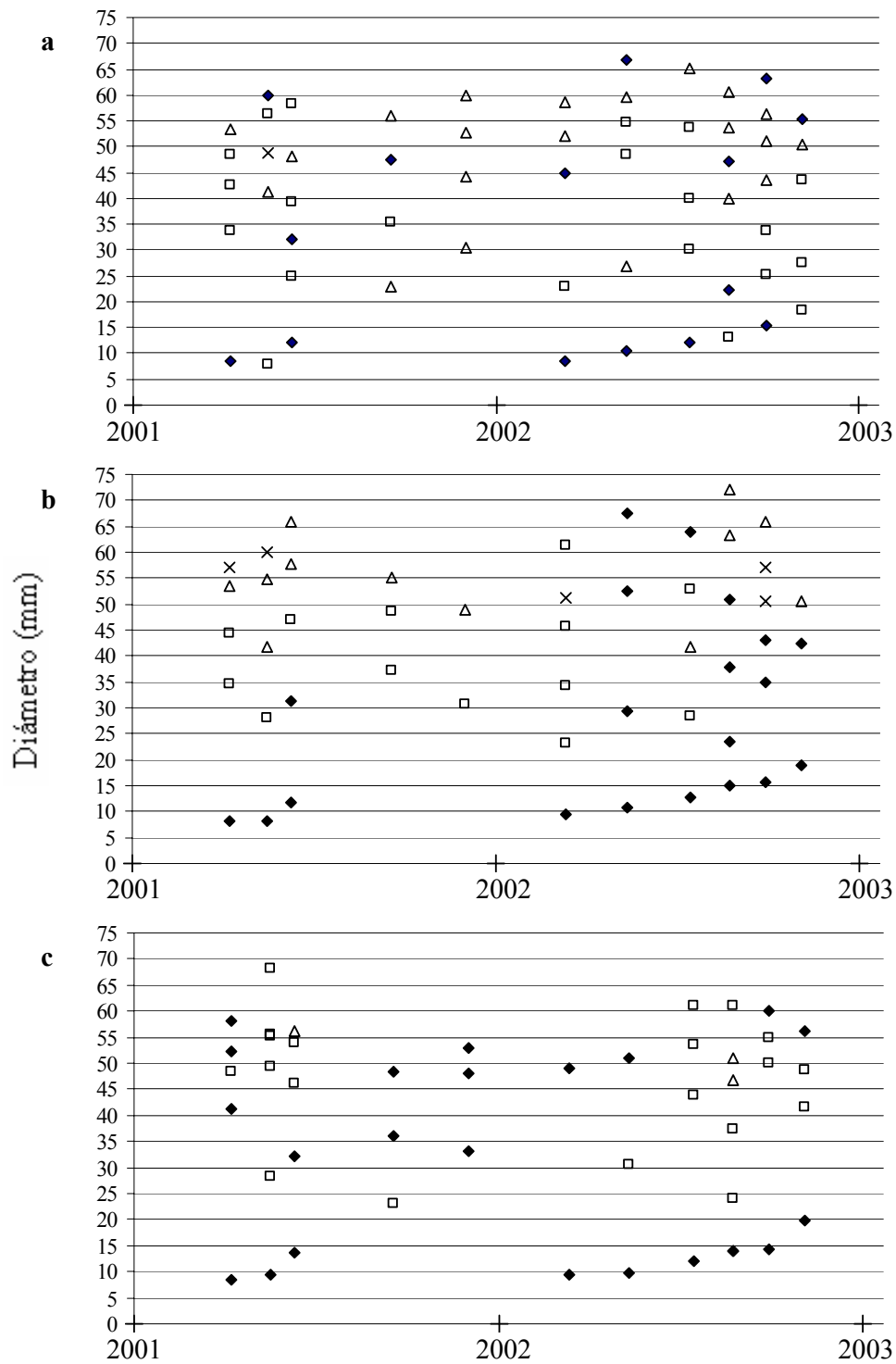


Figura 12. Distribución de las modas detectadas usando el método de Bhattachayra, con intervalos de 2 mm (a) y 3 mm (b), y el Programa SiZer (c); modas con confiabilidad alta (◆), media (□), baja (△) y mínima (×).

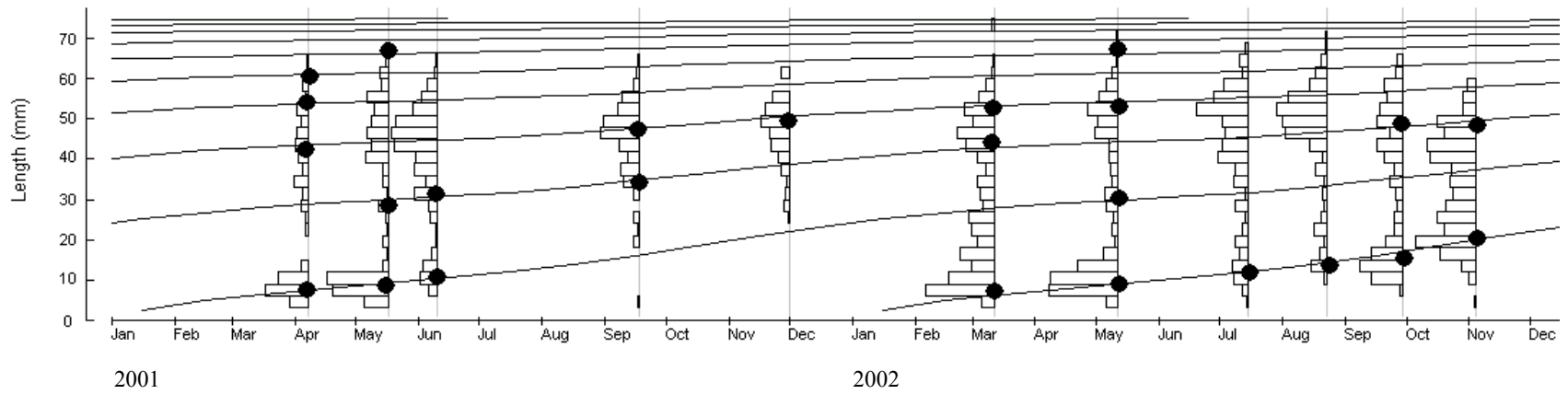


Figura 13. Estructura de frecuencia de tallas en la que se muestra la curva de crecimiento y los puntos que coinciden con las modas detectadas con los métodos Bhattacharya y el programa SiZer.

5.3.1 Crecimiento

Los parámetros de crecimiento del modelo de von Bertalanffy que describen el crecimiento de *E. vanbrunti* fueron los siguientes: $L_{\text{inf}} = 77.58 \pm 4.53$ mm y $K = 0.36$ (año⁻¹). El indicador de bondad de ajuste (R_n) fue de 0.109.

El valor de T_0 estimado con estos parámetros fue de -2.496 E-15 (Figura 14).

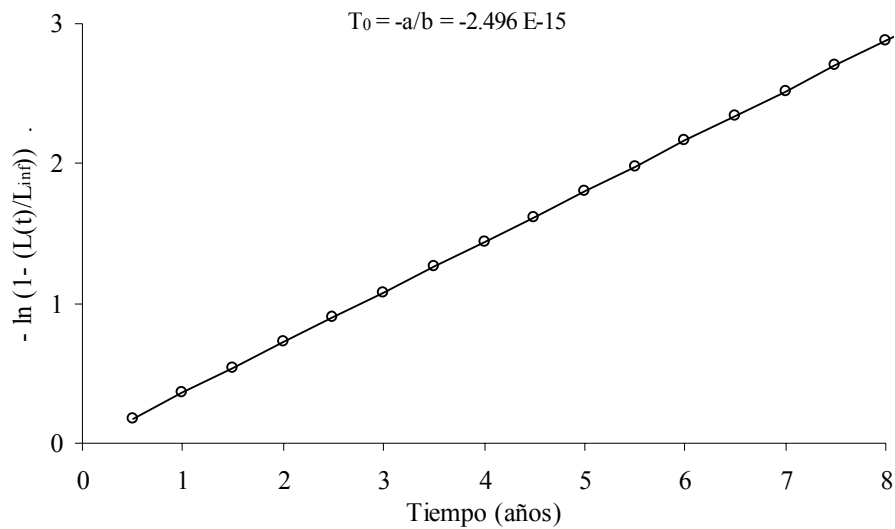


Figura 14. Gráfico de von Bertalanffy usado para el cálculo de T_0 .

De esta manera la ecuación queda de la siguiente manera:

$$L_{(t)} = 77.58 (1 - \exp^{-0.36 (t - (-2.496 \text{ E-15}))})$$

La representación gráfica del modelo indica que los organismos presentan mayor crecimiento durante los 3 primeros años de vida, edad a la cual ya han alcanzado los 51

mm de diámetro de testa. Ya para los 6 años de edad el crecimiento comienza a hacerse asintótico (Figura 15).

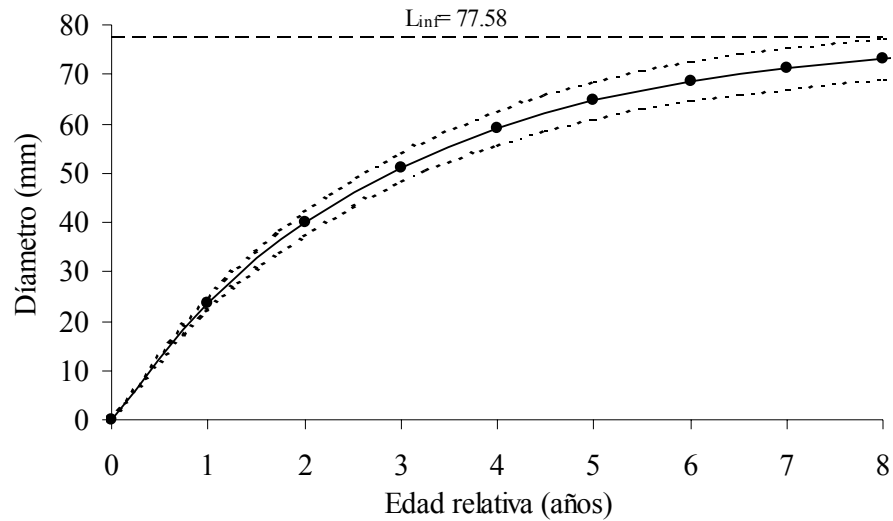


Figura 15. Curva de crecimiento en diámetro tipo von Bertalanffy en su forma sencilla para el erizo de mar *Echinometra vanbrunti*.

Por su parte, el parámetro “ t_i ”, indicó que el período donde el crecimiento es menor, ocurre cerca de abril, mientras que el de mayor crecimiento es en octubre. La ecuación que describe este modo de crecimiento es:

$$L_{(t)} = 77.58 \left(1 - \exp^{(-0.36 (t - 2.496 \text{ E-}15) - ((0.4 * 0.36) / 2 \pi) * \text{seno} (2 \pi * (t - 0.85)))} \right)$$

La representación gráfica del modelo muestra las oscilaciones en el crecimiento, sin embargo, éstas no parecen ser muy pronunciadas (Figura 16).

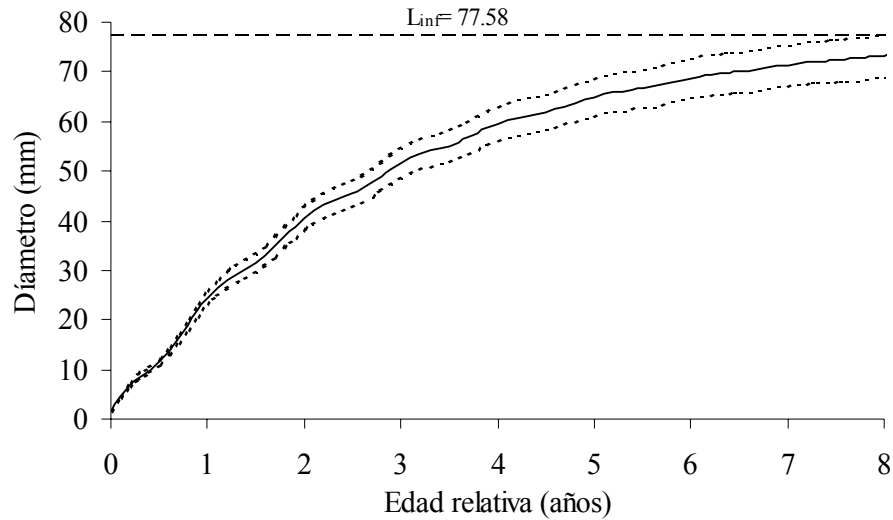


Figura 16. Curva de crecimiento en diámetro tipo von Bertalanffy en su forma estacionalizada para el erizo de mar *Echinometra vanbrunti*.

En cuanto a la estimación del peso asintótico se obtuvo que este fue de $W_{inf} = 190.8$ g. La ecuación que describe el crecimiento en peso fue:

$$W_{(t)} = 190.8 (1 - \exp^{-0.36 (t - (-2.496 \text{ E-}15))})^{2.59}$$

La representación gráfica del modelo mostró que durante los primeros 4 años de edad es el período en el cual se gana mayor peso. El peso se hace asintótico después de los 8 años (Figura 17).

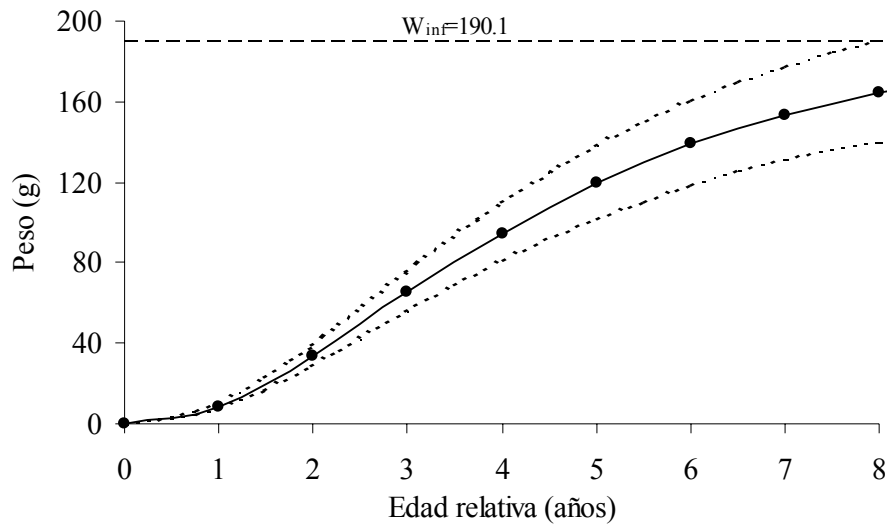


Figura 17. Curva de crecimiento en peso tipo von Bertalanffy en su forma sencilla para el erizo de mar *Echinometra vanbrunti*.

En general los modelos de crecimiento indicaron que aquellos individuos menores a los 23 mm de diámetro de testa o menores a 8.6 g de peso total tienen 1 año de edad o menos. Después se presenta un período de 3 años donde el crecimiento es acelerado. Una vez que se alcanzan los 5 años el incremento en talla comienza a disminuir y para los 7 años el crecimiento comienza a volverse asintótico.

La relación entre la tasa de crecimiento (K) de la especie y su talla máxima promedio (L_{inf}) se muestra en la Figura 18, la cual incluye, con fines de comparativos, los valores de estos parámetros para otras especies de erizos.

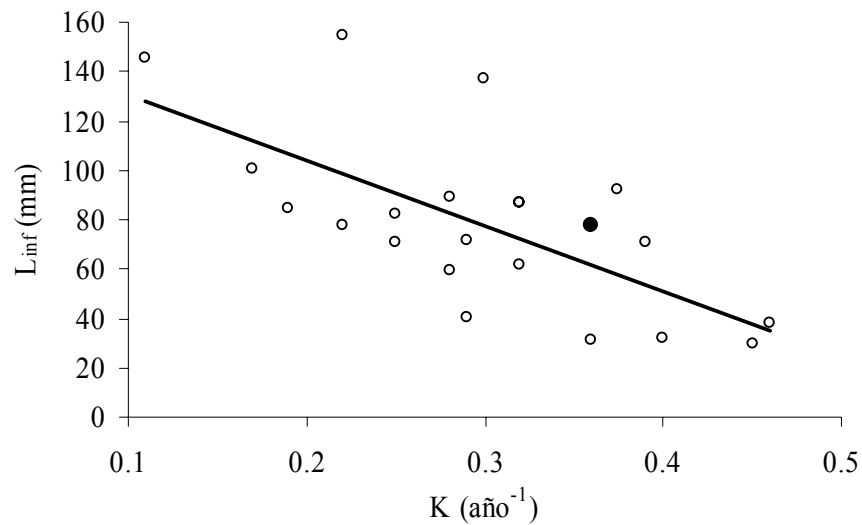


Figura 18. Relación entre K y L_{inf} de algunas especies de erizos (○) y la posición del valor de *Echinometra vanbrunti* (●) en esta relación.

5.3.2 Estructura de edades relativas de la población

La estimación de edades para los erizos medidos durante éste estudio, mostró que buena parte de los individuos presentaron edades de un año o menores (32%), seguidos por los que presentaron 3 años (31%). Un panorama más generalizado indica que los individuos en esta población están concentrados en edades menores a los 4 años, aunque se registraron individuos a los que se les estimó una edad de hasta ocho años (Figura 19).

El año de nacimiento de las cohortes que componen a la población (parte superior de cada barra), indican que durante el año 2002 se registró mayor cantidad de individuos con edades no mayores a un año, sugiriendo una mayor intensidad de reclutamiento respecto al año 2001.

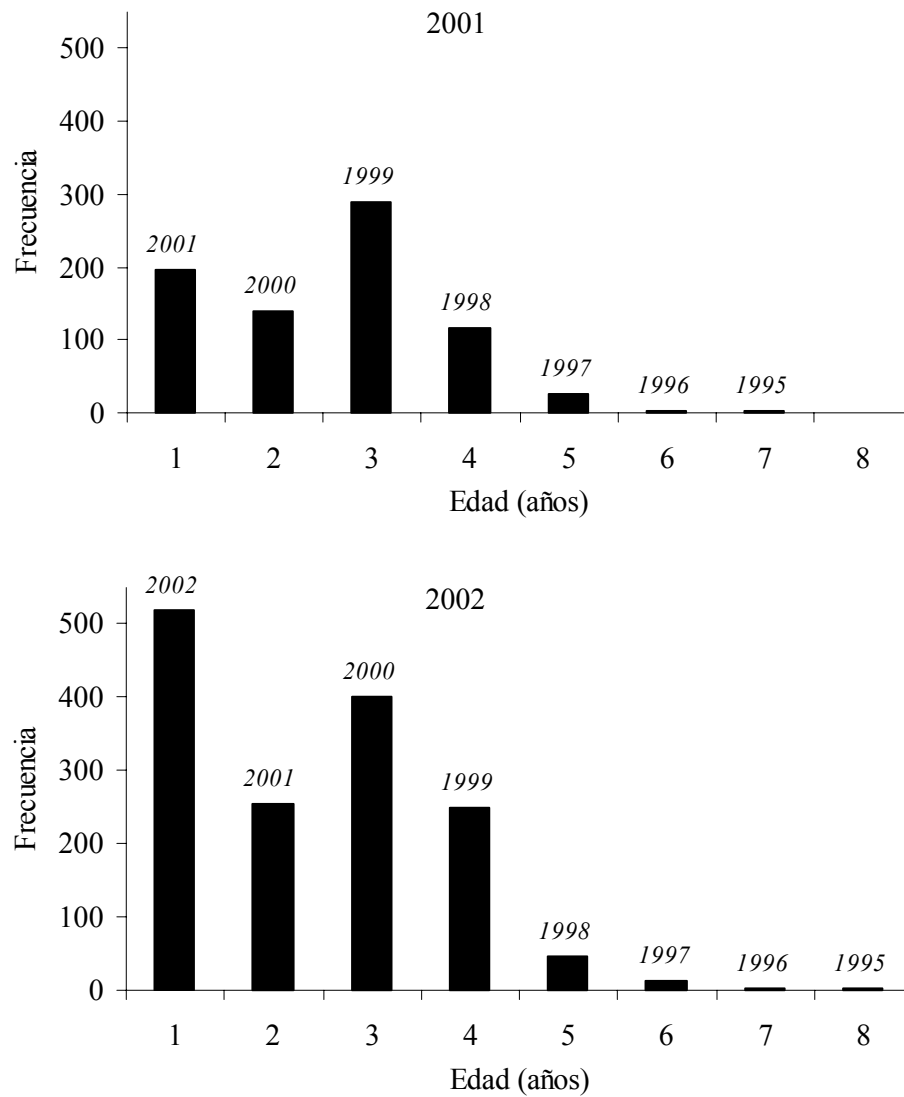


Figura 19. Edades estimadas para la población del erizo de mar *Echinometra vanbrunti* en Ensenada de Muertos para las temporadas 2001 y 2002; el número en la parte superior de cada barra se indica el año de nacimiento de cada cohorte.

5.3.3 Mortalidad

Las estimaciones de tasa de mortalidad natural (M) para la población de *E. vanbrunti* de Ensenada de Muertos, fueron muy parecidas en todos los métodos empleados, fluctuando de los 1.41 a los 1.59 en aquellos que emplean los datos de frecuencia de talla. Por su parte, la ecuación empírica de Pauly dió la estimación mas baja (1.27), aunque muy próxima a la estimada por los otros métodos (Tabla IX). Las estimaciones apuntan a que esta población soporta una alta tasa de mortalidad natural. La representación gráfica de la sobrevivencia de una cohorte típica, aplicando el valor medio de las estimaciones de mortalidad (1.44), indica que para el primer año de edad apenas cerca del 24 % de los individuos sobreviven, a la siguiente edad llega el 6 %, y ya para los 3 años tan solo el 1.3 % de los reclutas está presente (Figura 20).

Tabla VIII. Resumen del calculo de la tasa de mortalidad natural para *Echinometra vanbrunti* usando diferentes métodos.

Método	Estimación	Observaciones
Longitud Convertida a Curva de Captura (FiSAT)	1.46	Inter. conf. 1.34-1.57
Curva de Captura	1.51	
Jones y van Zalinge	1.59	
Ecuación de Beverton y Holt (basado en tallas)	1.41	
Powell-Weteral	1.42	
Ecuación empírica de Pauly	1.27	Temperatura = 25
Promedio	1.44	
Mediana	1.44	

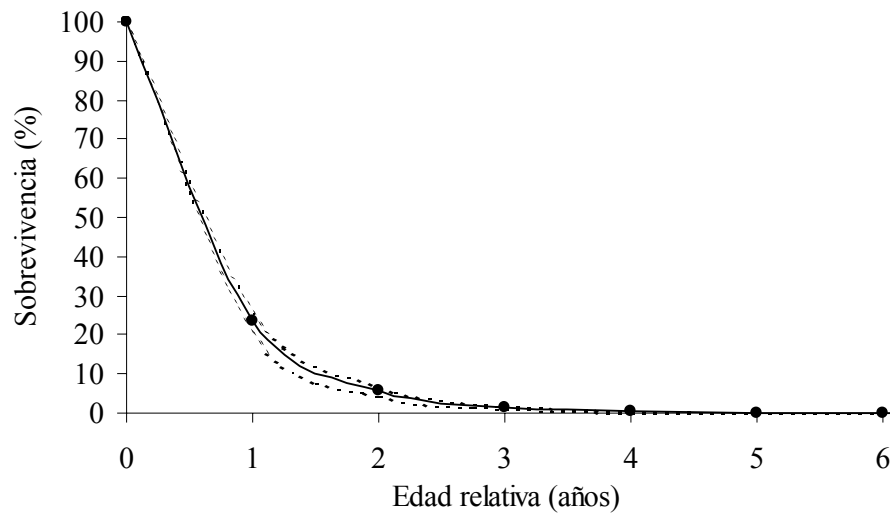


Figura 20. Curva de supervivencia (promedio) para una cohorte típica del erizo de mar *Echinometra vanbrunti* de Ensenada de Muertos.

5.3.4 Reclutamiento

Del análisis visual de la estructura de tallas, se puede inferir que la población de *E. vanbrunti* experimentó la ocurrencia de un evento de reclutamiento por año. Lo anterior es sugerido por la aparición de individuos pequeños en los meses de abril, mayo y junio del 2001 y en marzo y mayo del 2002, donde se ubicaron modas con tallas menores a los 16 mm de diámetro de testa. Esos grupos pueden representar cohortes individuales reclutadas en meses anteriores (Figura 21).

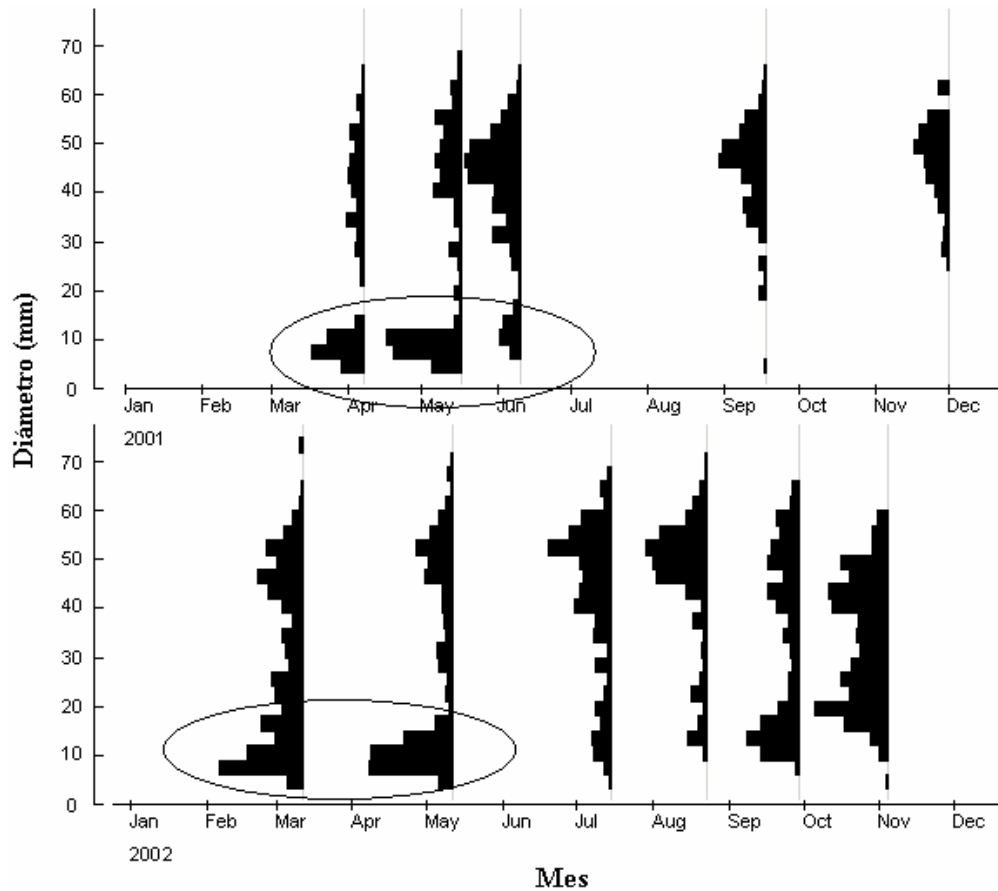


Figura 21. Estructura de tallas para el erizo *Echinometra vanbrunti*, donde se muestra la aparición de modas de posibles reclutas.

Del análisis de las edades obtenidas a partir de las medias correspondientes a las modas y los valores extremos del primer grupo de edad aparecido en abril 2001 y marzo 2002, se sugiere que la duración del reclutamiento debió ser próximo a 3 meses en ambas temporadas y que el pico de asentamiento probablemente ocurrió en diciembre del 2000 y octubre del 2001 (Tabla IX). Hubo un desfase cercano a un mes entre una y otra temporada, siendo más temprana la temporada 2001-2002 que la temporada 2000-2001.

Tabla IX. Fecha estimada de reclutamiento (asentamiento) del erizo *Echinometra vanbrunti* para la localidad de Ensenada de Muertos.

Media de la moda (mm) y la fecha en la que se registro	Edad estimada (años)	Fecha media de asentamiento	Período de asentamiento y duración aproximada
8.6			
07-Abr-01	0.326	09-Dic-00	Oct-00 a Ene-01
9.53			
11-Mar-02	0.364	29-Oct-01	Sep-01 a Dic-01

El período de desove en 2001, el cual abarcó de agosto a octubre (Lara-Rueda en proceso), está relacionado directamente con la temperatura, e inversamente con la concentración de pigmentos (Figura 22). Considerando que después del desove se forman las larvas, y que esta especie tienen un período de vida larvario cercano al mes, tendremos que el asentamiento y posterior reclutamiento (esperado) a la población debió ocurrir entre septiembre y noviembre para ese año. Este período se aproxima mucho a la estimación hecha en la sección anterior.

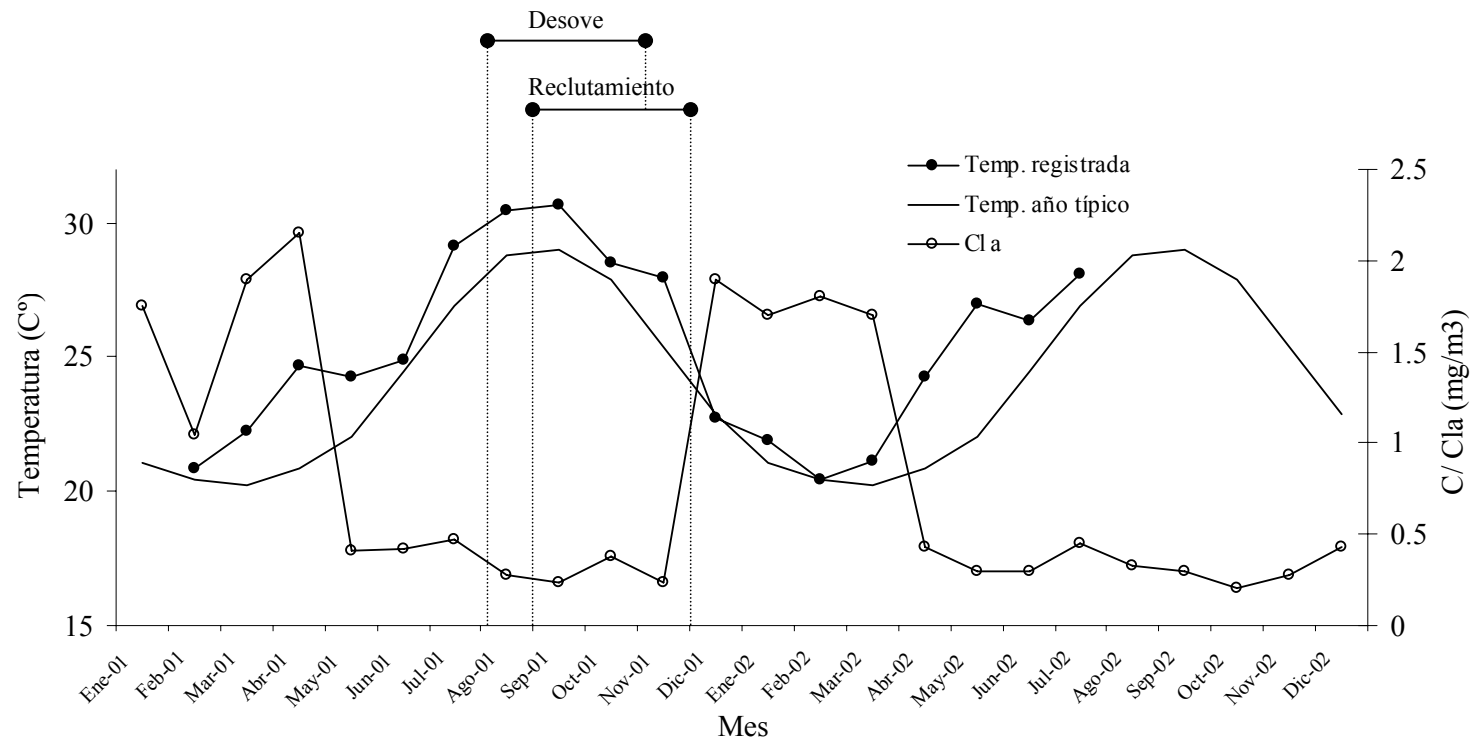


Figura 22. Periodos de desove y reclutamiento esperado, y su relación con la temperatura superficial del mar y la concentración de clorofila a.

5.4 Densidad poblacional

La densidad estimada para la población de *E. vanbrunti* de Ensenada de Muertos fue diferente entre las zonas intermareal y submareal (t -Student = -4.3963, g.l.= 60; $P < 0.001$). En la zona intermareal, la densidad fue mayor ($\bar{X} = 7.56 \pm 0.47$ ind/m²), que en la submareal ($\bar{X} = 1.83 \pm 0.14$ ind/m²; Figura 23). Considerando el valor promedio en peso, estos valores de densidad corresponden respectivamente a 305 g/m² y 73 g/m².

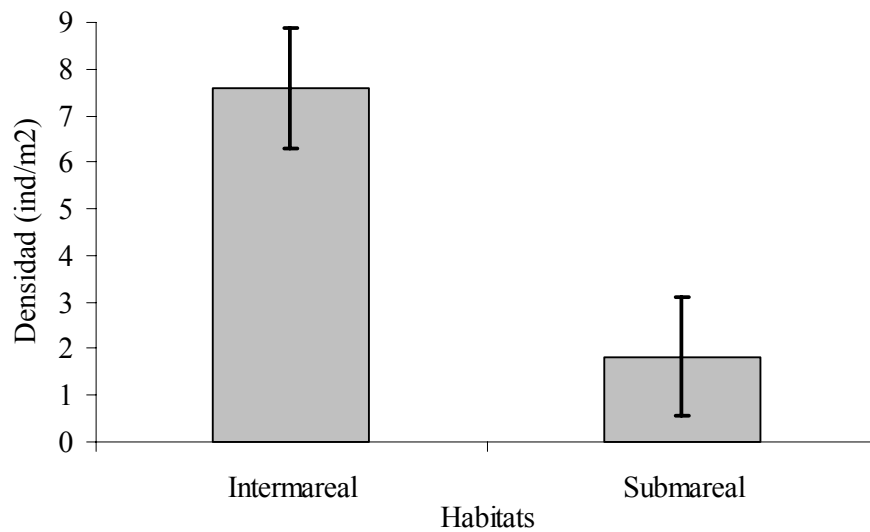


Figura 23. Densidad de *Echinometra vanbrunti* para las zonas Intermareal y Submareal de Ensenada de Muertos.

5.5 Rendimiento en biomasa

El rendimiento máximo en biomasa para una cohorte de *E. vanbrunti* se alcanza entre uno y dos años de edad, ésto es entre las tallas de 23 a 40 mm de diámetro de testa (Figura 24). Cuando se llega a los 3 años de edad el rendimiento disminuye, aunque los individuos ya presentan tallas de 51 mm de diámetro de testa en promedio. Después de los 5 años, o 64 mm de diámetro de testa, el rendimiento es muy bajo.

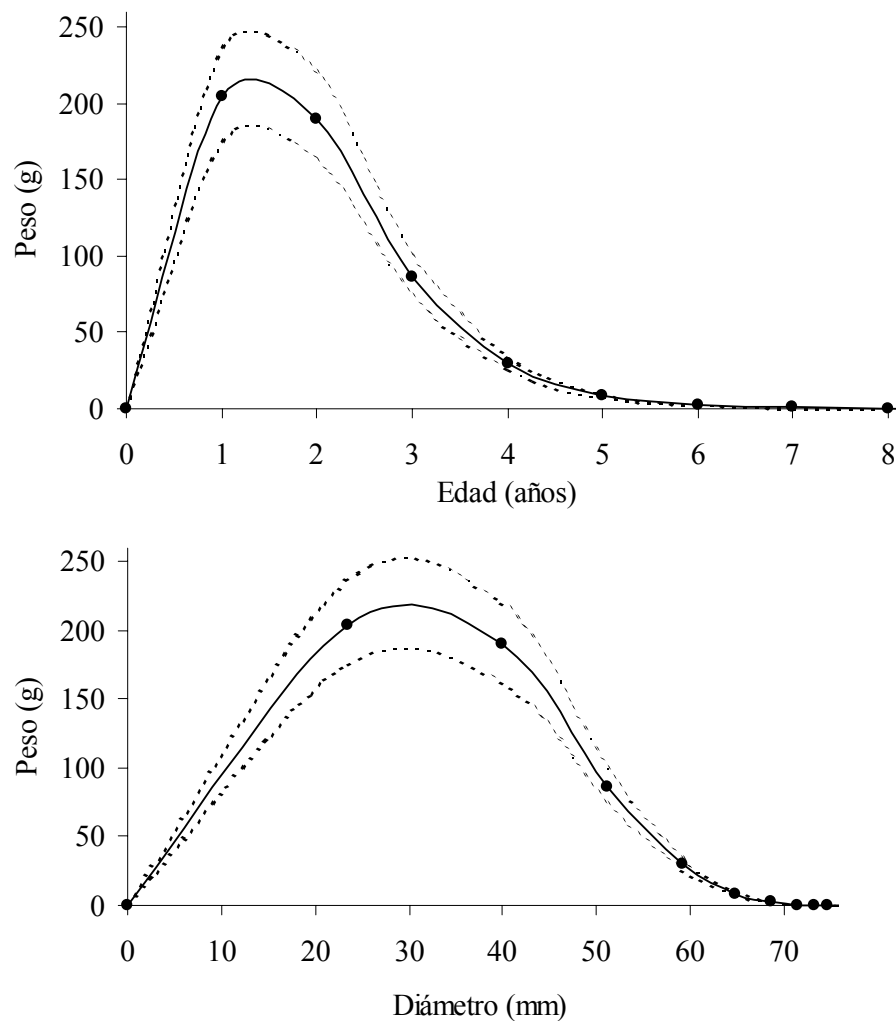


Figura 24. Rendimiento en peso respecto a la edad y el diámetro para el erizo

Echinometra vanbrunti.

6. DISCUSIÓN

6.1 Estructura de tallas de la población

El patrón bimodal que presentó la estructura de tallas en Ensenada de Muertos parece ser común para las poblaciones de este erizo en la región, ya que se ha encontrado también en las localidades La Aguja y San Pedrito (entre 23° y 24° N) de la costa occidental de Baja California Sur (observaciones personales). Dicho patrón se ha reportado para otros erizos, y se ha atribuido a una alta tasa de mortalidad de juveniles causada principalmente por depredación (e.g., Ebert, 1967; Tegner y Dayton, 1981; Sala y Zabala, 1996). Los patrones de distribución bimodales también resultan de la interacción entre la intensidad del reclutamiento y el cambio en el crecimiento (K) y mortalidad (Z) en relación con la edad de los individuos (Barry y Tegner, 1989; Bostfort *et al.*, 1994). Al respecto, se señala que un patrón bimodal (estable en el tiempo) resulta de la dominancia de la tasa de mortalidad en las primeras edades y posteriormente, de la tasa de crecimiento en edades mayores (Barry y Tegner, 1989). Lo anterior apoya la idea de que la mortalidad es responsable de la bimodalidad de *E. vanbrunti* de Ensenada de Muertos, sin embargo, la intensidad en reclutamiento durante los dos años de muestreo fue relativamente alta. Cerca del 32 % de las tallas registradas correspondieron a individuos menores al año de edad, por lo que los reclutamientos también tuvieron un papel determinante en la distribución de la estructura de tallas. Posteriormente, la disminución en la representatividad de los reclutas en el tiempo, apoya la idea de mortalidad alta en las primeras etapas de vida de este erizo.

Por otro lado, la talla tiene un efecto directo sobre la sobrevivencia en *E. mathaei*, indicándose que los individuos más pequeños son más susceptibles a la

depredación que los adultos (Hart y Chia, 1990). Himmelman (1988), sugiere la hipótesis de que los individuos (menores al año de edad) de *S. droebachiensis* aguardan refugiados durante una parte de su juventud hasta alcanzar cierta talla, posterior a la cual comienzan a moverse activamente con la finalidad de hallar alimento. Bostfort *et al.*, (1994) indican que la tasa de mortalidad se eleva cuando se rebasa la capacidad de carga del hábitat béntico en términos de refugio contra depredadores. Los erizos al crecer se ven forzados a abandonar sus refugios y moverse en busca de mejores espacios, como es el caso del erizo rojo *S. franciscanus* (Tegner y Dayton, 1981). Si los aspectos anteriores actúan sobre *E. vanbrunti*, tendríamos que después de alcanzar cierta talla, éste se vuelve más móvil y abandona su refugio en busca de mejores condiciones de alimento y refugio, haciéndolo más vulnerable a la depredación. La falta de individuos en la estructura de tallas, sugiere que *E. vanbrunti* es más vulnerable entre los 18 y 38 mm de diámetro de testa (Figura 2). De la misma manera el erizo rojo es más depredado dentro del intervalo de talla 50 y 80 y cuando alcanza los 90 mm, obtienen refugio parcial debido a su talla (Tegner y Dayton, 1981). Aunque en este estudio no se observaron otros organismos alimentándose directamente de *E. vanbrunti*, se han mencionado que peces, cangrejos, langostas y otros equinodermos (asteroideos) están dentro de los principales depredadores de erizos jóvenes (Tegner y Dayton, 1981; Pearse y Hines, 1987; Sala y Zabala, 1996). Al respecto Pearse y Hines (1987), indican que en poblaciones de erizo rojo y morado, la mayoría de los reclutas son depredados antes del año de edad.

Por otro lado, un factor que también debió tener un efecto negativo en la sobrevivencia de los reclutas es el de que a partir del mes de mayo y hasta noviembre se presenta una disminución en la productividad del área (Figura 23), lo cual implica una

menor disponibilidad de alimento para los reclutas del año. Esto podría explicar el que en junio del 2001, mes en que tendrían aproximadamente 6 meses de edad (Figura 3), los individuos que representan a los reclutas (la primer moda) desaparecen, mientras que en junio del 2002, la moda se mantiene, pero comienza a disminuir su representatividad.

Como se había mencionado en los antecedentes, en 1997 se evaluó una población de *E. vanbrunti* en Bahía Magdalena en la costa occidental de la península de Baja California (cortesía de Antonio-Masso, CRIP-La Paz), en dicho trabajo, se estimó la estructura de tallas, algunas relaciones morfométricas y la densidad poblacional. De aquí se observó que la estructura de tallas de *E. vanbrunti* en Ensenada de Muertos difiere en varios aspectos a la reportada para Bahía Magdalena. Entre ellos, destaca que la talla promedio en la población de Bahía Magdalena es de 70.5 mm de diámetro de testa, con una distribución de tallas de 40 a 97 mm de diámetro de testa y con una estructura unimodal, mientras que para la población de Ensenada de Muertos el promedio es 65.2 mm con un rango de 4 a 73 mm de diámetro de testa y una distribución bimodal. Tal vez el tipo de muestreo (buceo autónomo) tenga un leve efecto en la estructura de las tallas, sin embargo, las diferencias ambientales entre las localidades son las causas más probables de la discrepancia en tallas, en especial, la disponibilidad de alimento. El crecimiento en los erizos es sumamente sensible en respuesta a la disponibilidad de alimento (Edwardrs y Ebert, 1991), e incluso puede revertirse bajo condiciones de escasez (Ebert, 1967; Levitan, 1991; Constable, 1993). La costa del lado occidental de Baja California tiene productividad más alta respecto a la costa oriental, debido a los aportes de nutrientes por surgencias estacionales, lo cual

favorecen al crecimiento algal (Sánchez-Rodríguez y Cervantes-Duarte, 1999), y ofrece mayor disponibilidad de alimento para los erizos.

En cuanto a las estructuras en peso de la población, las diferencias entre los meses, tanto para los pesos drenados como totales, detectadas por el análisis de varianza, pueden obedecer básicamente al azar en el muestreo, ya que de haberse encontrado una tendencia, esta tendría que haber sido gradual e influenciada por el efecto del peso de las gónadas, como se ha demostrado en *T. depressus* (González-Peláez, 2001). En este erizo se encontró que cuando las gónadas se encuentran cerca de su máximo en peso, los erizos también son más pesados.

El peso promedio total fue de 55.53 g, esto es que se requiere capturar de al menos 18 erizos, para obtener un kilo de erizo fresco entero. Considerando que los erizos de ese peso en adelante se emplearán en la pesquería, se tendría acceso a 56% de la población. En las pesquerías de erizo rojo y morado la unidad de captura es la “marea”, la cual actualmente es cercana a los 120 kilos de erizo fresco entero por embarcación al día (Salgado-Rogel *et al.*, 2003). Para igualar el peso de una marea capturando individuos de *E. vanbrunti*, sería necesario cosechar un máximo de 1868 erizos. Como el rendimiento en gónada de este erizo en los meses previos a la reproducción es próximo al 10 % del peso total del individuo, (Lara-Rueda, en proceso), se obtendría un rendimiento por marejada cercano a 12 kg de gónada, la cual como punto de comparación, es pagada ya limpia a razón de 250 pesos por kilogramo en Baja California, esto corresponde a 3000 pesos. Como éste erizo no requiere de equipo especializado para su captura, esta actividad puede resultar una tarea relativamente rentable, comparada con la pesca de erizo en el Pacífico. La extracción de una cantidad importante de erizos para obtener capturas comparables a las pesquerías de aguas frías,

obliga a que se consideren alternativas que permitan mejorar el rendimiento de esta especie. Estudios relacionados con la crianza de erizos en cautiverio, han mostrado que las dietas artificiales son mejores que las dietas naturales (Lawrence *et al.*, 1997), e incrementan en forma substancial el rendimiento de las gónadas en períodos de tiempo relativamente cortos (e.g. Lawrence *et al.*, 1997; Pearse *et al.*, 2002; Bustos y Olave, 2003).

6.2 Relaciones morfométricas

Los valores de las pendientes de las relaciones morfométricas de diámetro-peso drenado y diámetro-peso total (2.43 y 2.59 respectivamente), se encuentran en el rango reportado para otras especies de erizo (1.97-2.83; Tabla VIII), lo que indica que la especie crece de manera alométrica. En particular, con el modelo obtenido de Bahía Magdalena (datos no publicados, CRIP-La Paz), se puede ver que hay una alta proximidad en sus parámetros (a y b) sugiriendo que esta relación puede aplicarse de manera general al hacer estimaciones de biomasa en las poblaciones de este erizo en Baja California Sur (e.g Kenner, 1992).

Uno de los principales indicadores del potencial pesquero de los erizos es el diámetro y la presencia de gónadas de tallas adecuadas para el mercado. La relación diámetro-peso de la gónada indica que las gónadas de *E. vanbrunti* son mayores conforme se incrementa el diámetro de la testa (Figura 10). Siendo así, resulta más conveniente enfocar los esfuerzos a capturar individuos de tallas mayores.

Por otro lado, al comparar el modelo diámetro-peso de la gónada con el de la población de Bahía Magdalena, se encontró que las gónadas de los erizos de Ensenada de Muertos son de menor peso en proporción al diámetro del animal (Figura 11). La

causa de esta diferencia podría ser que el modelo para Ensenada de Muertos se estimó de datos correspondientes a un ciclo anual, mientras que el de B. Magdalena consideró sólo datos de un período breve de muestreo (diez días). Esto es, puede haber un sesgo en el modelo, dependiendo de la época en la cual se midieron los erizos. Cuando los organismos se encuentran próximos al “pico” reproductivo se espera que los modelos indiquen que las gónadas son más grandes respecto a los posteriores a los desoves. Además, la gónada también es usada como órgano de reserva de energía (Russell, 1998), por ello es muy plástica hacia las condiciones ambientales, respondiendo en cortos períodos de tiempo a la disponibilidad y calidad de alimento (e.g. Lawrence *et al.*, 1997; Pearse *et al.*, 2002). Por tanto, al considerar los pesos de gónadas de organismos en un período amplio de tiempo es de esperarse que estos presenten fluctuaciones, reflejándose en el análisis con un alto grado de dispersión y un modelo que indique gónadas más pequeñas.

Para demostrar lo anterior, se presenta el modelo calculado usando sólo los datos del mes de agosto (donde se presentó el mayor peso de las gónadas) y su comparación con el modelo anual de Ensenada de Muertos y el de Bahía Magdalena (Figura 11). Ahí es posible ver que incluso el modelo de Bahía Magdalena muestra gónadas de menor talla respecto al diámetro. Lo anterior, sugiere que el erizo *E. vanbrunti* deberá ser cosechado en períodos próximos a la reproducción (cerca de agosto), ya que es cuando se consigue el mejor rendimiento en peso de las gónadas.

6.3 Estimación de parámetros poblacionales

Las técnicas directas para medir el crecimiento suelen ser de difícil aplicación en organismos bentónicos (Gage, 1992), y en particular, en erizos de mar, ya que presentan gran dificultad para retener marcas (Ebert, 1965). Esto ha sido la razón por la cual la medición del crecimiento se realiza comúnmente por métodos indirectos, y generalmente se aplican dos o más métodos diferentes con el fin de validar los parámetros (e.g. Ebert, 1980 y 1988; Chiu, 1990; Lumingas y Guillou, 1994; Lamare y Mladenov, 2000). Sin embargo, en el estricto concepto de validación, se rompen supuestos que dejan a discusión el validar a través de métodos indirectos. Pese a lo polémico que pudiese parecer el tema, generalmente se llega a la conclusión de que los resultados de un método apoyan al otro, y viceversa. De manera que ante la falta de métodos directos más confiables, no hay otra opción que continuar por vías indirectas.

Lumingas y Guillou (1994) utilizaron el programa ELEFAN I, basado en la distribución de frecuencia de tallas, para comparar sus resultados obtenidos mediante la lectura de anillos de crecimiento, encontrando un patrón similar en las curvas estimadas por ambos métodos. Bajo esta misma idea, la aplicación simultánea del método de Bhattacharya y el programa SiZer, pretenden identificar lo más correctamente las modas con las cuales se caracteriza al modelo de crecimiento (Figura 13). Aunque las estructuras de talla no muestran patrones de edad tan evidentes, fue posible detectar hasta 6 grupos de edades (Figuras 12), y como es frecuente, hubo dificultad para detectar modas o grupos de edad cuando se trata de tallas mayores, ya que estas comienzan a sobreponerse conforme se acercan a la longitud asintótica. Turon *et al.* (1995) señalan que debido a la dificultad para identificar e interpretar modas a partir datos de frecuencia de tallas, el uso de estructuras de crecimiento (marcas naturales) es

el mejor método para estimar el crecimiento individual en *Paracentrotus lividus*, ya que se tienen hasta 11 grupos de edades repartidos en una distribución de tallas que no rebasa los 70 mm de diámetro de testa. En el caso particular de *E. vanbrunti*, como ya se mencionó se detectó un máximo de 6 grupos, en los que el índice de separación (en el método Bhattacharya) fue estadísticamente representativo en la mayoría de las modas, indicando que resulta conveniente el método de análisis de distribución de tallas.

Las coincidencias en modas detectadas en el análisis de tallas, pueden ser consideradas como evidencia suficiente para reforzar los parámetros de crecimiento descritos. En especial los reclutas fueron de utilidad para ello, ya que fue posible hacer el seguimiento de su crecimiento durante los dos años de muestreo. En las tallas mayores, el grado de coincidencia de las modas fue menor.

6.3.1 Crecimiento individual

Los parámetros de crecimiento, K y L_{inf} , de *E. vanbrunti* en Ensenada de Muertos, se encuentran dentro del rango reportado por McClanahan y Muthiga (2001) para otros erizos pertenecientes al mismo género (K : 0.19-0.46 y L_{inf} : 30.9-86.8; Tabla X).

En la comparación de parámetros estimados para erizos de interés comercial (Tabla X) destaca que *E. vanbrunti* crece más rápido que los strongylocentrotidos (Mottet, 1976), y tiene un ciclo de vida más corto (tasa de crecimiento K más alta; Sparre y Venema, 1995), lo que se traduce en mayor capacidad de recuperación de sus poblaciones en caso de ser explotados. *Echinometra vanbrunti*, para llegar a los 50 mm de diámetro de testa, talla de primera captura en la explotación de erizos con parámetros similares, tarda aproximadamente 3 años (ver figura 15); mientras que en miembros del

genero *Strongylocentrotus* toma entre 4 y 5 años alcanzar dicha talla (Mottet, 1976). Respecto a la talla asintótica (L_{inf}), aunque es menor a la de erizos de interés comercial (*S. franciscanus* y *S. droebachiensis*), resulta semejante a la de *Anthocidaris crassispina*, *S. purpuratus* y *Paracentrotus lividus*, que son especies de tallas relativamente pequeñas sobre las cuales existe una pesquería (< 80 mm de diámetro de testa; Tabla X). Bajo la perspectiva de los parámetros de crecimiento, *E. vanbrunti* puede considerarse apto para soportar una pesquería. Es importante aclarar, que esta afirmación es sólo basándose en la tasa de crecimiento (K) y la talla asintótica (L_{inf}).

Tabla X. Comparación de parámetros poblacionales estimados para otros erizos del genero *Echinometra* y otros de importancia comercial (*).

Especie	K	L_{inf}	M	Fuente
<i>E. vanbrunti</i>	0.36	77.58	1.44	Este trabajo
<i>E. mathaei</i>	0.32	86.8	0.47	Drummond, 1994
<i>E. mathaei</i>	0.19-0.46	38.1-84.9	0.05-0.2	Tomadas de McClanahan
<i>E. oblonga</i>	0.36-0.40	30.9-50.0	0.07-0.18	yMuthiga, 2001
<i>Anthocidaris crassispina</i> *	0.17-0.29	100.68 –71.32	Nd	Chiu, 1990
<i>Spaerechinus granularis</i>	0.34-0.40	89.57-95.53	Nd	Lumingas y Guillou, 1994
<i>S. franciscanus</i> *	0.22	155.00	0.22	Lelevier-Grijalva y Palleiro-Nayar, 1987
<i>S. droebachiensis</i> *	0.28	89.40	Nd	Munk, 1992
<i>S. purpuratus</i> *	0.28	59.7	0.22	Cota-Villavicencio <i>et al.</i> , 1996

6.3.2 Estructura de edades relativas de la población

Aunque es posible efectuar evaluaciones con fines pesqueros de las poblaciones directamente con datos de tallas, la mayoría de ellas son más fáciles de realizar

operando con edades (Gulland y Rosenberg, 1992). En erizos de mar la estructura de edades normalmente se estima a partir de anillos de crecimiento, en los que se asume formación anual (e.g. Gage, 1987, 1991 y 1992; Ebert, 1988; Chiu, 1990; Lumigas y Guillou, 1994). Pese a que en este estudio se emplearon métodos diferentes, mediante análisis de grupos de tallas, las edades estimadas para la población de *E. vanbrunti* de Ensenada de Muertos son suficientemente consistentes.

La estructura de edades relativas de *E. vanbrunti*, durante 2001 y 2002 está compuesta en buena parte por individuos de un año de edad y menores (Figura 19), indicativo de la integración de nuevos individuos a la población por reclutamiento. La menor representatividad en número de individuos en el 2001 respecto al 2002, sugiere que la intensidad del reclutamiento en el 2001 fue menor y/o la sobrevivencia de los reclutas fue afectada negativamente por algún factor ambiental y/o biológico.

Al igual que en la estructura de tallas, se detectó una disminución en el número de individuos de 2 años de edad (Figura 19), sugiriendo que en la transición de uno a dos años la sobrevivencia es relativamente baja. Debido a que siempre se aplicó el mismo método de muestreo, queda eliminada la posibilidad de que haya habido un sesgo en la representación de los grupos de edad. Como se explicó en la sección 6.1, esto puede deberse a efectos de la depredación.

De manera general, en los dos años (2001 y 2002) se encontró que la mayor parte de los individuos son menores de 4 años de edad (Figura 19), y sólo una pequeña fracción de la población sobrepasa esta edad (~ 4%). Esto, pese a que las especies de este género asignan gran parte de su energía para el mantenimiento (desarrollo de estructuras de mantenimiento fuertes; testa y espinas) lo que teóricamente les permitirían tener una mayor sobrevivencia (Ebert, 1975), lo cual se reflejaría en una

mayor cantidad de individuos de edad superior a los 4 años. En *Echinometra mathaei* (que tiene parámetros de crecimiento de $K= 0.32$ y $L_{inf}= 86.8$), la esperanza de vida es de 8 a 10 años (Drummond, 1994). En otros erizos, de parámetros de crecimiento similares, se han detectado individuos hasta de 9 años (Chiu, 1990; Lumigas y Guillou, 1994). Basándose en la razón $3/K$, indicadora de esperanza de vida de los organismos, se podría esperar que la longevidad de *E. vanbrunti* fuera de 8 años; sin embargo, de los 2262 individuos registrados, sólo dos presentaron edades relativas de 8 años. Si es cierto que *E. vanbrunti* puede llegar a vivir hasta los 8 años, la escasez de individuos con edades mayores a los 4 años en la estructura de edades, parece indicar que la población de Ensenada de Muertos es sujeta a presiones fuertes, por ejemplo, debidas a depredación, aspecto que será discutido más adelante. Una idea alternativa, es que en la estructura de edades quedó registrado el efecto de algún evento que provocó la eliminación de un número importante de individuos en las cohortes de 1998 y anteriores.

6.3.3 Mortalidad

La tasa de mortalidad estimada ($M=1.44$) resultó ser relativamente alta respecto a la esperada para un erizo de este género (McClanahan y Mutiga, 2001). Ebert (1975), encontró una relación positiva entre los parámetros K y M de 18 especies de erizos de ambientes templados y tropicales, en la que se indica que erizos con altas tasas de mortalidad alcanzan su talla máxima muy rápidamente (valores altos en K), situación que no se cumple en *E. vanbrunti*, ni en ningún otro miembro de este género (Tabla X). De hecho, la relación indica que para un valor de K de 0.36, como el estimado para *E. vanbrunti*, le corresponderían valores de mortalidad (M) de entre 0.2 y 0.4. La

estimación de mortalidad más alta que se tiene registrada para este género es de 0.47, para *E. mathaei* (Drummond, 1994). Lo anterior apunta a la posible sobreestimación de la tasa de mortalidad, sin embargo, los datos analizados dieron resultados muy similares, aun con métodos diferentes, por lo que se sugiere que en la estructura de tallas, información de donde se derivó la tasa de mortalidad, quedó el registro de algún disturbio que causó una alta mortalidad. Una de las posibilidades, como se mencionó anteriormente, es la ocurrencia de un evento de mortalidad masiva ocurrida en años recientes. La ocurrencia de dichos eventos debidos a enfermedades o variaciones ambientales ha sido documentada para otros erizos (ver Lawrence, 1996). Observaciones previas en el área de estudio, indicaron que la población experimentó una disminución importante en densidad, entre noviembre de 1999 y enero del 2000 (Olguín-Espinoza com. per. 2002), lo cual apoya la hipótesis de la mortalidad masiva. Esto puede explicar en parte, la poca representación de las cohortes de 1998 y años anteriores en la estructura de edades (Figura 19). Sin embargo, no hay una relación directa con perturbaciones ambientales que pudiesen ser responsables de dicha mortalidad. El fenómeno de oscilación sureña El Niño, al cual se le han atribuido impactos negativos sobre poblaciones bentónicas en el Golfo California (Reyes-Bonilla, 2001; Suárez-González, 2001; Iglesias-Prieto *et al.*, 2003; Solís-Bautista, 2003), tuvo sus efectos más recientes en el período 1997-98. Por otra parte, el fenómeno de La Niña de 1999, presentó anomalías térmicas negativas ($<2^{\circ}$ C; Lavín *et al.*, 2003), pero más próximas al tiempo en el que debió ocurrir la mortalidad masiva, y su efecto parece no haber causado cambios drásticos en poblaciones de otros invertebrados bentónicos. En el caso del bivalvo *Pinctada mazatlanica*, se experimentó una disminución en la intensidad reproductiva (referida como la frecuencia de los desoves en la población;

García-Cuellar *et al.*, 2004), sin que se reporten efectos mayores. No obstante, si consideramos el antecedente que indica que en poblaciones de erizo “hiperdensas” ocurren frecuentemente eventos de mortalidad masiva a causa de la escasez de alimento (por sobre-pastoreo) y enfermedades (Steneck *et al.*, 2002), es posible que el efecto de las alteraciones ambientales sobre la población hayan sido indirectas, afectándose a la fuente de alimento (macroalgas) o favoreciendo la ocurrencia de enfermedades.

Otro aspecto, es que la depredación por peces juegue un papel importante. De los que se alimentan de erizos de este género son Balistidos, Sparidos y labridos (Aronson *et al.*, 2002), y de los cuales hay gran cantidad de representantes en el sur del Golfo de California. Esto también deja abierta la posibilidad de que las poblaciones de esta región estén siendo sujetas a una alta presión por depredación, lo cual se traduce en una menor sobrevivencia de individuos.

6.3.4 Reclutamiento

Las estructuras de tallas mensuales indicaron la ocurrencia de un evento o pulso de reclutamiento por año, lo cual concuerda con la información respecto a que la especie durante el 2001 presentó el período reproductivo desde agosto a octubre (Lara-Rueda en proceso). Si consideramos que la fase larvaria de *E. vanbrunti* es de aproximadamente un mes (McClanahan y Muthiga, 2001), tendremos que el período de “reclutamiento teórico” para el 2001 fue de septiembre a noviembre. Siendo así, el período de duración de reclutamiento detectado por la ecuación inversa de von Bertalanffy parece ser correcto para ese año (Tabla IX y Figura 22). Siendo así, el período indicado para el reclutamiento del año 2000, sugiere que las condiciones

ambientales que activaron el proceso reproductivo y reclutamiento se presentaron un mes más tarde en el ciclo anual, que para el año 2001.

Debido a la sincronía reproductiva en especies del género *Echinometra* (Lessios, 1981; Cameron, 1986), es posible que en la estructura de tallas se presenten modas de reclutas bien definidas, tal y como se pudo observar en los histogramas mensuales (Figura 3). En particular con *E. vanbrunti*, un punto que vale la pena resaltar es la concordancia en la duración y la época en la que se presentan los desoves y el reclutamiento entre la población de Ensenada de Muertos (24° N) y una población estudiada por Lessios (1981) en la costa de Panamá en el pacífico (9° N). Esto sugiere que el gradiente latitudinal no modifica la temporalidad de la reproducción en la especie. Además, por desarrollarse a partir de larvas planctotróficas, es posible que el flujo génico entre poblaciones mantenga la homogeneidad (Jablonski, 1986), lo que implicaría aspectos positivos en cuanto el manejo de la especie.

La información del período de desove de *E. vanbrunti*, además de permitir verificar el pulso de reclutamiento de la temporada 2001 y su duración, también permite formular hipótesis sobre la ecología reproductiva de este erizo. Lessios (1981) sugiere que los individuos de la población de Panamá toman ventaja de la mejor época del año para reproducirse, con lo que se garantiza cierta sincronía reproductiva entre los conespecíficos. Si esto es así, la pregunta inmediata es: ¿Cuáles son las características del medio ambiente que favorecen la reproducción en cierta época del año?. Al respecto, y como puede apreciarse en la figura 20, los desoves ocurren en la temporada del año donde las condiciones de disponibilidad de alimento son escasas para las larvas (el género *Echinometra* presenta larvas planctotróficas; Emlet, 1995), por ser la temporada de menor productividad para la zona (finales de verano y buena parte del

otoño), debido a la presencia de la termoclina y que impide que se mezclen las aguas superficiales con las del fondo, ricas en nutrientes. El período cálido, pudiese parecer a primera vista poco favorable para el desarrollo de las larvas, sin embargo, Lessios (1981) señala que para las larvas el alimento no es un recurso limitante durante el año, en contraste si puede ser un problema para los juveniles. Esto es, que bajo las condiciones de invierno, el incremento en la fuerza de los vientos aumenta a su vez la velocidad de las corrientes (Lluch-Cota, 2000), y con ello la dispersión y transporte de larvas lejos de sus poblaciones de origen.

Otro aspecto interesante, es que al ser liberados al medio, los gametos se diluyen a medida que se alejan del progenitor, haciendo cada vez menos probable que la fecundación ocurra; al incrementarse la intensidad de las corrientes puede reducirse el porcentaje de fertilización, incluso a menos del 10 % cuando la velocidad de la corriente es mayor a 0.05 m/s (Levitan *et al.*, 1992). Además, las larvas requieren encontrarse cerca de la costa, para tener mayor probabilidad de asentarse en un sustrato que garantice su sobrevivencia, esto implica que los vientos generadores de las corrientes sean débiles, para que el movimiento no las desplace hacia aguas abiertas, donde es poco probable que puedan asentarse.

Después de lo anteriormente explicado, resulta entendible que las condiciones de verano, caracterizadas por vientos débiles y estratificación del agua, ofrezcan mayores probabilidades de éxito para la fecundación, lo cual, meses más adelante permitirá la existencia de larvas en número suficiente y cerca de la costa, para que se asienten y recluten a la población. Siguiendo esta idea, resulta ventajoso que los reclutas obtengan provecho del incremento en la productividad de la temporada fría (Figura 22), lo que

representa que los individuos desarrollen más rápido estructuras (espinas, crecimiento de la testa) que les permitan sobrevivir a la depredación (Lessios, 1981).

En los dos años de muestreo, fue posible seguir el crecimiento de los reclutas en la estructura de tallas (Figura 3), siendo esto el resultado de su alta tasa de sobrevivencia durante los primeros meses de vida. No obstante, después del mes de mayo, la cantidad de individuos decae en forma importante, sugiriendo una alta mortalidad, como se explico en la sección 6.1. McPherson (1969), señala que *E. lucunter* se recluta sobre áreas mucho más amplias que en las que puede sobrevivir como adulto. Si esto aplica en los reclutas de *E. vanbrunti*, es muy posible que buena parte de la mortalidad se relacione a la disminución en la disponibilidad de alimento, y a los efectos de exposición y desecación de la zona intermareal, área donde se observó mayor incidencia de reclutas (observaciones personales). Observaciones adicionales, dejaron ver que la mayor parte de los reclutas se encontraron en sitios poco profundos y en pozas de marea, y en ocasiones agregados. En la zona submareal la ocurrencia de reclutas fue mucho más baja, lo que sugiere la existencia de un gradiente inverso de la intensidad de los reclutamientos con la profundidad.

6.4 Densidad poblacional

Echinometra vanbrunti presentó una densidad poblacional relativamente alta respecto a la de especies de erizos de ambientes tropicales y más cercana a las de ambientes templados y fríos (Tabla XI). McClanahan y Muthiga (2001), indican que las especies del género *Echinometra*, debido a su densidad, llegan a acumular las más altas biomásas por unidad de área en los litorales rocosos costeros en el mundo. Aunque la

densidad de *E. vanbrunti* durante el período de estudio no llegó a ser tan alta como lo señalado por estos autores, observaciones previas en la misma localidad, sugieren que este erizo puede llegar a sostener poblaciones mucho más densas que las aquí reportadas.

Tabla XI. Densidades de *E. vanbrunti* y su comparación con la de otras especies.

Especie	Afinidad	Ind/m²	Referencia
<i>E. vanbrunti</i>	Tropical	1.83-7.56	Este trabajo
<i>E. viridis</i>	Tropical	5.00-20.00	Aronson <i>et al.</i> , 2002
<i>Tripneustes depressus</i>	Tropical	0.43	González-Peláez, 2001
<i>T. ventricosus</i>	Tropical	0.12-4.70	Lessios, 1984; Scheibling y Mladenov, 1988
<i>S. franciscanus</i>	Templada	1.16-3.78	Romero-Orozco y Bertsch, 1984; Cota-Villavicencio <i>et al.</i> , 1996
<i>S. purpuratus</i>	Templada	3.00	Cota-Villavicencio <i>et al.</i> , 1996
<i>Paracentrotus lividus</i>	Templada	2.80-10.7	Sala y Zabala, 1996
<i>S. droebachiensis</i>	Fría	14.00-136.00	Munk, 1992
<i>Evechinus cloroticus</i>	Templada	6.00-7.00	Ayling, 1981

Parecer ser que existen fluctuaciones cíclicas en las poblaciones de equinodermos que habitan esta región del Golfo de California (obser. person.), lo anterior resulta entendible si pensamos que la población estudiada se localiza en una región de transición de dos subprovincias zoogeográficas (Solís-Marín *et al.*, 1997) que por el efecto de borde (ocasionado por los cambios en los factores oceanográficos) pueden afectar a las poblaciones. Beltrán-Ramírez (1999) indica que la incidencia promedio de huracanes en las áreas arrecifales del Golfo de California (entre 23° y 25°

N) fluctúa entre 0.2 y 4.0 eventos al año. Esta incidencia puede afectar a larvas y reclutas, así como tener efectos directos sobre las poblaciones adultas.

Respecto a las diferencias de densidad detectadas entre las zonas intermareal y submareal, sugieren un gradiente inverso de distribución de la especie con la profundidad.

6.5 Rendimiento en biomasa

El decline en las poblaciones naturales de erizos que actualmente sostienen la pesquería, ha forzado a que los países productores re-evalúen sus estrategias de uso de este recurso (Robinson, 2004). Atendiendo a esta recomendación y sabiendo que el erizo *E. vanbrunti* muy probablemente lleve a ser utilizado comercialmente, se hace necesaria la búsqueda de la mejor estrategia que permita obtener el mayor rendimiento de las poblaciones. Dentro de las estrategias, se encuentran aquellas que evalúan cómo obtener el mejor rendimiento de las especies en función a su edad o talla. Para la población estudiada de *E. vanbrunti*, los resultados indican que el máximo rendimiento en biomasa se alcanza entre uno y dos años de edad; sin embargo, teniendo en cuenta que los erizos a esta edad son muy pequeños (23-43 mm de diámetro de testa) y que el interés comercial se centra en erizos con tallas mayores a los 50 mm de diámetro de testa, de llegar a explotarse el recurso, se sugiere ésta talla como la mínima legal de captura. A los 50 mm de diámetro de testa el rendimiento es alto y se podría acceder a cerca del 29 % de la población; además, esto permitiría que los individuos se reprodujeran en al menos en una ocasión, ya que la talla de primera madurez en esta especie se alcanza entre los 34 y 36 mm de diámetro de testa (Lara-Rueda, en proceso).

6.6 Perspectivas del aprovechamiento del erizo *E. vanbrunti*

Las tallas de *E. vanbrunti* se encontraron dentro del ámbito registrado para especies de importancia comercial (Sloan, 1985; Kenner, 1992; Munk, 1992; Cota-Villavicencio *et al.*, 1996). Un aspecto importante es que la talla mínima de captura en estas especies ha sido establecida de acuerdo al tamaño de las gónadas aceptadas por el mercado. En el caso del erizo chileno *Loxechinus albus* ($L_{inf}= 110$ mm), la mínima que se ha establecido es de 70 mm de diámetro de testa (Stotz, 2004), sin embargo, se ha demostrado que se pueden alcanzar gónadas comerciales en erizos de 50 mm alimentados con dietas artificiales (Bustos y Olave, 2003). Para el erizo *Paracentrotus lividus* ($L_{inf}= 7.5$; Boudouresque y Verlaque, 2001), la talla comercial es cercana a los 30 mm de diámetro para el mercado local francés (Sloan, 1985). Las tallas de buena parte de la población de *E. vanbrunti* superan cualquiera de los dos casos anteriores, lo que sugiere que desde el punto de vista de su talla esta especie tiene potencial en el mercado.

Por su parte, las características de la historia natural, que afectan la producción de biomasa y su mantenimiento, pueden ser usadas para evaluar el potencial de uso de las especies, ya sea para la acuicultura (Lawrence y Bazhin, 1998) o bien para planear las estrategias de manejo de los recursos pesqueros (Romero-Juárez y Searcy-Bernal, 1994). El tener una tasa de crecimiento moderada (0.36), ser relativamente longevo (8 años), adquirir la madurez sexual a temprana edad (1-2 años; Lara-Rueda en proceso), tener una estructura (testa y espinas) relativamente fuerte (característica del género; Ebert, 1975) y una reproducción anual, indican que *E. vanbrunti* presenta una estrategia del tipo “competitivo”. Esta estrategia es más parecida a las de especies que soportan

pesquerías, que a las consideradas, debido a su alta tasa de producción en términos de biomasa, más aptas para la acuicultura (similar a la estrategia r; Lawrence y Bazhin, 1998). Desde este punto de vista *E. vanbrunti*, parece tener mayores expectativas de uso en la pesquería de sus poblaciones naturales que para la acuicultura, sin embargo, deberán tomarse en cuenta sus densidades para hacer un uso adecuado de la especie. Como se mencionó, este erizo llega a encontrarse en bancos muy densos, que deberán explotarse de preferencia en un lapso corto de tiempo y antes de la época reproductiva, esto, con el fin de no capturar organismos desovados. Además, en los meses previos al desove, las gónadas son grandes y ricas en aminoácidos, los cuales dan un sabor dulce a la gónada y la hacen más aceptable en el mercado (Perase *et al.*, 2002). Una ventaja del mercado de la gónada de erizo en México, es el hecho de que este producto se paga a un precio relativamente alto (observ. person.).

Debido a que *E. vanbrunti* es una especie de talla relativamente pequeña, y por ende de bajo peso en gónada, de abrirse su pesca se requerirá cosechar un mayor número de individuos en relación con el número de individuos por kilogramo de gónada en las pesquerías de erizos de mayor interés comercial. Lo anterior anticipa un menor rendimiento, sin embargo, la pesca de especies pequeñas también resulta una actividad rentable, tal es el caso de *S. purpuratus*, *P. lividus* y *A. crassispina*, especies comerciales más similares a *E. vanbrunti*. La gran disponibilidad de organismos en el caso del *S. purpuratus*, provoca que no se cuente con restricciones de pesca, sin embargo para el caso de *E. vanbrunti*, donde la densidad es mucho menor, es deseable buscar establecer medidas regulatorias, así como optimizar el rendimiento al máximo.

Una alternativa que pudiera ser viable para incrementar la producción, es la aplicación de dietas artificiales en jaulas flotantes (*long lines*) para engorda; proceso

que ha mostrado tener efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de gónadas más atractivas para el mercado en períodos de tan sólo tres meses (Barker y Fell, 2004).

Finalmente, a pesar de que el rendimiento esperado de *E. vanbrunti* no es tan alto como el de las pesquerías de erizos de aguas templadas, los aspectos discutidos anteriormente, sugieren que esta especie es una buena alternativa para la diversificación de la pesquería de erizo en México. Es importante señalar que esta actividad deberá contemplar el aprovechamiento de más de una especie (como se hace actualmente en Baja California), para lo cual es necesario evaluar otras especies de la región, como el erizo café, *T. depressus*, de manera que el rendimiento de la pesca sea mayor.

7. CONCLUSIONES:

- La estructura de tallas de la población de *Echinometra vanbrunti* presentó un patrón bimodal, con una moda de individuos menores de 20 mm de diámetro de testa la otra de mayores de 41 mm.
- Cerca del 28 % de la población presenta tallas por arriba de la que pudieran ser considerada de interés comercial (>50 mm).
- La población presentó un diámetro promedio de 35.16 mm y pesos promedio de 43.55 g para el drenado, y de 55.53 g para el total.
- El valor de la pendiente de la relación diámetro-peso total (2.59) indicó que la especie crece de manera alométrica.
- Los parámetros de crecimiento indicaron que el diámetro máximo promedio (L_{inf}) de *E. vanbrunti* es 77.58 mm, el peso total máximo promedio (W_{inf}) es 190.1 g y la tasa de crecimiento (K) es 0.36 (año⁻¹).
- La tasa de mortalidad natural para *E. vanbrunti* fue relativamente alta (1.44).
- El reclutamiento en el área de estudio ocurrió durante los dos años de estudio (2001 y 2002) y siguiendo un patrón anual entre los meses de septiembre y diciembre.

- La densidad poblacional estimada para *E. vanbrunti* en Ensenada de Muertos fue de 7.56 ± 0.47 ind/m² en la zona intermareal y de 1.83 ± 0.14 ind/m² en la zona submareal.
- El máximo rendimiento en biomasa para una cohorte de *E. vanbrunti* se alcanza entre uno y dos años de edad, esto es, entre la talla de 23 a 40 mm de diámetro de testa; sin embargo se sugiere considerar 50 mm de diámetro de testa como talla mínima de captura en caso de iniciar su pesquería.
- A pesar de que el rendimiento esperado de *E. vanbrunti* no es tan alto como el de las pesquerías de aguas templadas, se sugiere a esta especie como una buena alternativa para la diversificación de la pesquería en México.

8. RECOMENDACIONES:

Es recomendable que se continúen los estudios poblacionales de *E. vanbrunti*, así como de otras especies de erizo regionales, con el fin de poder entender más acerca de la dinámica de sus poblaciones e interacciones entre ellas y cómo son afectadas por los disturbios naturales (tormentas, huracanes y El Niño, la Niña). Así mismo, se recomienda estudiar la ecología de las larvas de *E. vanbrunti* y el efecto de las corrientes, aporte de nutrientes y anomalías térmicas sobre su sobrevivencia y distribución.

Parte importante para conocer el potencial de aprovechamiento de esta especie es examinar sus posibilidades en la acuicultura. Para ello, se sugiere trabajar en sistemas de cultivo de ciclo completo, desde la obtención de larvas hasta alcanzar la talla comercial, así como estudiar el efecto de diferentes dietas desarrolladas en laboratorio con el fin de engordar a los animales y producir gónadas de calidad para el mercado, además de procesos que proporcionen un valor agregado al producto.

También se recomienda realizar estudios de genética de poblaciones por varias razones, la principal de ellas es conocer el estado de salud de las poblaciones, en términos de diversidad de genes. Estos mismos estudios permiten estimar el flujo de alelos entre las poblaciones, e identificar los stocks o unidades biológicas que las constituyen, información que debe de tomarse en cuenta al delimitar áreas y temporadas de pesca.

Al trabajar con esta especie se recomienda continuar con estudios de monitoreo a largo plazo para identificar los patrones de variabilidad de las poblaciones en relación a los cambios ambientales.

Por último, los métodos aquí empleados para la estimación de densidad favorecieron el rápido censo de los individuos en las áreas señaladas, por lo que se recomienda su uso para hacer el seguimiento de la dinámica de las poblaciones en futuros estudios.

9. LITERATURA CITADA

Agatsuma, Y. 2003. Sea urchin fisheries: Japanese perspective. En: Sea Urchin 2003: International Conference on Fisheries and Aquaculture (Abstracts). Instituto de Fomento Pesquero (Chile) y University of South Florida (USA). FISAL Aqua Trade Center, Puerto Varas, Chile, March 25-27, 2003. 133 p.

Álvarez-Sánchez G, M. R. Steveson y B. Wyatt. 1978. Circulación y masas de agua en la región de la boca del Golfo de California en la primavera de 1970. Ciencias Marinas. 5: 57-69.

Aronson, R.B., W.F. Precht., M.A. Toscano y K.H. Koltjes. 2002. The 1998 bleaching event and its aftermath on coral reef in Belize. Mar. Biol. 141: 435-447.

Ayling, A.M. 1981. The role of biological disturbance in temperate subtidal encrusting communities. Ecol. 62:830-847.

Barker, M. y J. Fell. 2004. Sea cage experiments on roe enhancement of the New Zealand sea urchin *Evechinus chloroticus*. 375-383. En: John M. Lawrence y Oscar Guzmán (eds.). Sea Urchin Fisheries and Ecology. Proceedings of the International Conference on Sea-Urchin Fisheries and Aquaculture. Puerto Varas, Chile. 402 p.

Baqueiro-Cardenas, E., A.Q. Aviles, J.A. Masso-Rojas, M.D. Muciño., N.P. Rogers y B.A. Velez. 1992. Manual de métodos de muestreo y evaluación de poblaciones de moluscos y otros recursos bentónicos. Secretaria de Pesca, INP. México. 73 p.

Barry, J.P. y M.J. Tegner. 1990. Inferring demographic processes from size-frequency distributions: Simple models indicate specific patterns of growth and mortality. Fish. Bull. 88: 13-19.

Begon, M., Harper, J.L. y C.R. Townsend. 1990. Ecology; Individuals, Populations and Communities. Blackwell Scientific Publications. Boston. 945 p.

Beltrán-Ramírez, V.H. 1999. Estructura de la comunidad de siete zonas coralinas del sur del Golfo de California. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur, Departamento de Biología Marina, La Paz, México, 99 pp.

Bostford, L.W., B.D. Smith y J.F. Quinn. 1994. Bimodality in size distributions: The red sea urchin *Stongylocentrotus franciscanus* as an example. Ecol. Appl. 4: 42-50.

Brusca, R. 1980. Common intertidal invertebrates of the Gulf of California. 2° Ed. University of Arizona Press, Tucson. 513 p.

Bustos E.R. y S.M. Olave. 2003. Manual: El cultivo del erizo (*Luxechinus albus*). Instituto de Fomento Pesquero. Chile. 23 pp

Cañedo-López, Y., M.J. Dreyfus-León y A. Cota-Villavicencio. 1999. Aplicación de un modelo bioeconómico a la pesquería del erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus*, de la costa noroccidental de Baja California, México. *Cienc. Mar.* 25 (3): 325-344.

Cameron, R.A. 1986. Reproduction, larval occurrence and recruitment in caribbean sea urchin. *Bull. Mar. Sci.* 39: 332-346.

Cameron, R.A. y S.C. Schroeter. 1980. Sea urchin recruitment: Effect of substrate selection on juvenile distribution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2: 243-247.

Carmona, R., M. Angeles y H. Ramírez. 1994. Una aproximación metodológica a la medición de la relación entre la actividad económica y la naturaleza. La almeja catarina (*Argopecten circularis*): Un caso de estudio. *Rev. Inv. Cient. Ser. Cienc. Mar.* 5: 7-20.

Caso, M.E. 1978. Los equinoideos del Pacífico de Mexico; Parte 1. Ordenes Cidaroida y Aulodonta; Parte 2. Ordenes Stiridonta y Camarodonta. *Pub. Esp. An. Centro Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México.* 1:1-242.

Caso, M.E. 1992. Asteroideos, ofiuroides y equinoideos de la bahía de Mazatlán, Sinaloa. *Pub. Esp. Inst. Cienc. del Mar Limnol. Univ. Nal. Autón. México.* 11 p.

Chiu, S.T. 1990. Age and growth of *Anthocidaris crassispina* (Echinodermata: Echinoidea) in Hong Kong. *Bull. Mar. Sci.* 47: 94-103.

Cintra-Buenrostro, C.A., H. Reyes-Bonilla y O. Arizpe-Covarubias. 1998. Los equinodermos (Echinodermata) del arrecife de Cabo Pulmo, Pacífico de México. *Revis. Biol. Trop.* 46: 341-344.

Constable, A.J. 1993. The role of suture in shrinking of the test in *Heliocidaris erythrograma* (Echinoidea:Echinometridae). *Mar. Biol.* 117: 423-430.

Cota-Villavicencio A., D. Aguilar-Montero, M. Romero-Martínez, R. Solana-Sansores y F. Uribe-Osorio. 1996. La pesquería del erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) y morado (*S. purpuratus*) en la costa noroccidental de la Baja California. *Cienc. Pesq.* No 12. 68-75.

Coyer, J.A., R.F. Ambrose., J.M. Engle, y J.C. Carroll. 1993. Interactions between corals and algae on a temperate zone rocky reef: mediation by sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 167: 21-37.

Deweese, Ch. M. 2003. Sea Urchin Fisheries: A California perspective. 37-55. En: John M. Lawrence y Oscar Guzmán (eds.). *Sea Urchin Fisheries and Ecology. Proceedings of the International Conference on Sea-Urchin Fisheries and Aquaculture.* Puerto Varas, Chile. 402 p.

Drummond, A.E. 1994. Aspects of the life history biology of three species of sea urchin on the South African east coast. En: David B., Guille A., Féral J.P. y Rux M. (ed.). *Echinoderms Through Time.* Balkema, Rotterdam. 637-641.

Ebert, T.A. 1965. A technique for the individual marking of sea urchin. *Ecol.* 46:193-194.

Ebert, T.A. 1967. Negative growth and longevity in the purple sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). *Science.* 157: 557-558.

Ebert, T.A. 1975. Growth and mortality of post-larval Echinoids. *Amer Zool.* 15: 755-775.

Ebert, T.A. 1980. Relative growth of the sea urchin jaw: An example of plastic resource allocation. *Bull. Mar. Sci.* 30 (2): 475-508.

Ebert, T. 1981. Estimating mortality from growth parameters and a size distribution when recruitment is periodic. *Limnol. Oceanogr.* 26 (4): 764-769.

Ebert, T.A. 1982. Longevity, life history and relative body wall size in sea urchin. *Ecol. Monogr.* 52: 353-394

Ebert, T.A. 1987. Estimating growth and mortality parameters by nonlinear regression using average size and catches. En: D. Pauly y G.R. Morgan (eds.). *Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conference Proceedings 13*, 468 p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila. Philippines, and Kuwait Institute for Scientific Research, Safat, Kuwait. 35-44 p.

Ebert, T.A. 1988. Calibration of natural growth lines in ossicles of two sea urchins, *Strongylocentrotus purpuratus* and *Echinometra matthaei*, using tetracycline. En: Burke R.D., Mladenov P.V., Lambert P. y Parsley R.L. (eds.). Echinoderm Biology. Balkema, Rotterdam. 435-443 p.

Ebert, T.A. 2001. Growth and survival of post-settlement sea urchins. En: John M. Lawrence (ed.). Edible Sea Urchin: Biology and Ecology. Elsevier, Amsterdam. 79-102.

Ebert, T.A. y M.P. Russell. 1993. Growth and mortality of subtidal red sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) at San Nicolas Island, California, USA: Problems with models. Mar. Biol. 117:79-89.

Edwards, P.B. y T.A. Ebert. 1991. Plastic responses to limited food availability and spine damage in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 145:205-220.

Emlet, R.B. 1995. Developmental mode and species geographic range in regular sea urchins (Echinodermata: Echinoidea). Evolution. 49(3): 476-489.

Espino-Barr E., R. Cibrán-Rodríguez y A. García-Boa. 1996. Estructura y densidad de la población del erizo tinta *Diadema mexicanum* en el litoral rocoso del Estado de Colima. Cien. Pesq. 12:60-67.

Fajardo-León, 1998. Abundancia y estructura poblacional de callo de hacha (*Pinna rugosa*, *Atrina maura* y *Atrina* sp.) en Bahía Magdalena, B.C.S., México. Abril de 1995. Boletín Pesquero CRIP-La Paz. 9:30-37.

Freire, C.A., P.J.P. Santos, N.F. Fontoura, R.A.O. Magalhaes y P.A. Grohmann. 1992. Growth and spatial distribution of *Cassidulus mitis* (Echinodermata: Echinoidea) on sandy beach in southeastern Brazil. Mar. Biol. 112:625-630.

Gage, J.D. 1987. Growth of the deep-sea irregular sea urchin *Echinosigra phiale* and *Hemiaster expergitus* in the Rockall Trough (N.E. Atlantic Ocean). Mar. Biol. 96: 19-30.

Gage, J.D. 1991. Skeletal growth zones as age-markers in the sea urchin *Psammechinus miliaris*. Mar. Biol. 110:217-228.

Gage, J.D. 1992. Benthic secondary production in the deep sea. En: G.T. Rowe y V. Pariente (eds.). Deep-Sea Food Chains and the Global Carbon Cycle. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 199-216.

García-Cuéllar, J.A. 2000. Ciclo reproductivo de la madreperla, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), y su relación con los fenómenos “El Niño” y “La Niña” (1997-1999), en la Isla Espíritu Santo, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría. CICIMAR. I.P.N. La Paz, B.C.S., México. 75 pp.

García-Cuellar, J.A., F. García-Domínguez, D. Lluch-Belda y S. Hernández-Vázquez. 2004. The Niño and The Niña effects on reproduction captive cycle of the pearl oyster *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) (Pteriidae) at Isla Espiritu Santo in the Gulf of California. *J. Shellf. Res.* 23:113-120

Gayanillo, F.C., P. Sparre y D. Pauly. 1994. The FAO-ICLARM stock assesment tools (FiSAT). FAO Computaruzed information series (Fisheries) No.8. Vol.1, User's guide; Vol. 2, Reference manual. FAO, Roma. 186 p. (Vol. 1), y 249 p. (Vol. 2).

González-Peláez, S.S. 2001. Biología poblacional del erizo café *Tripneustes depressus* A. Agassiz, 1863 (Echinodermata: Echinoidea), en el sur del Golfo de California, México. Tesis de Licenciatura. Univ. Autónoma de Baja California Sur. 71 p.

Grosjean, P. 2001. Growth model of the reared sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). Thesis degree of Doctor. Faculte des Sciences Universite Libre de Buxelles. Belgique 271p.

Gulland J.A. y A.A. Rosenberg. 1992. Examen de los métodos que se basan en la talla para evaluar las poblaciones de peces. FAO Documento técnico de pesca No. 323. Roma, FAO. 112p.

Hart, L.J. y F.S. Chia. 1990. Effect of the food supply and body size on the foraging behavior of the borrowing sea urchin *Echinometra mathaei* (de Blainville). J. Exp. Mar Biol. Ecol. 135: 99-108.

Hausback, B. 1984. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, México. 219-236. En: V.A. Frizzel, Jr. (eds). Geology of Baja California Península; Pacific Section. S.E.P.M. E.U.A.

Hay, M.E. 1984. Patterns of fish and urchin grazing on caribbean coral reefs: are previous results typical. Ecol. 65 (2): 446-454.

Himmelman, J. H. 1986. Population biology of green sea urchins on rocky barrens. Mar. Ecol. Prog. Ser. 33: 295-306.

Holguin-Quiñones O., H. Wright-López y F. Solís-Marín. 2000. Asteroidea, Echinoidea y Holoturoidea en fondos someros de la Bahía de Loreto, Baja California Sur, México. Rev. Biol. Trop. 48: 749-757.

Iglesias-Prieto, R., H. Reyes-Bonilla y R. Riosmena-Rodríguez. 2003. Effects of 1997-1998 ENSO on coral reef communities in the Gulf of California, Mexico. Geof. Intern. 42(3): 467-471.

Jablonski, D. 1986. Larval ecology and macroevolution in marine invertebrates. Bull. Mar. Sci. 39 (2): 565-587.

Kalvass, P.E. y J.M. Hendrix. 1997. The California red sea urchin, *Strongylocentrotus franciscanus*, Fishery: Catch, effort, and management trends. Mar. Fish. Rev. (59): 1-17.

Keesing, J.K. y K.C. Hall. 1998. Review of Harvests and status of the world sea urchin fisheries points to opportunities for Aquaculture. J. Shelf. Res. (17):1597-1604.

Kenner, M.C. 1992. Population dynamics of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* in Central California kelp forest: recruitment, mortality, growth and diet. Mar. Biol. 112: 107-118.

Lamare, M.D. y P.V. Mladenov. 2000. Modeling somatic growth in the sea Urchin *Evechinus chloroticus* (Echinoidea: Echinometridae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 243: 17-43.

Lara-Rueda, G.N. En proceso. Ciclo reproductivo del erizo del mar *Echinometra vanbrunti* (Agassiz, 1863) (Echinodermata: Echinodea) en Ensenada de Muertos, Baja California Sur, México. Tesis de Licenciatura. Univ. Autónoma de Baja California Sur.

Lavín, M.F., E. Palacios-Hernández y C. Cabrera. 2003. Sea surface temperature anomalies in the Gulf of California. Geof. Interna. 42 (3):363-375.

Lawrence, J. M. 1995. Mass mortality of echinoderms from abiotic factors. 103-137. En: Jangoux, M. y J.M. Lawrence (eds). Echinoderm studies. A.A. Balkema, Rotterdam.

Lawrence, J. M. 1996. Mass mortality of echinoderms from abiotic factors. 103-137. En: Jangoux, M. y J.M. Lawrence (Eds). Echinoderm studies. A.A. Balkema, Rotterdam.

Lawrence, J.M. y A. Bazhin. 1998. Life-history strategies and the potential of sea urchins for aquaculture. J. Shellf. Res. 17 (5):1515-1522.

Lawrence, J.M., S. Olave, R. Otaiza, A.L. Lawrence y E. Bustos. 1997. Enhancement of gonad production in the sea urchin *Loxechinus albus* in Chile fed extruded feeds. J. World Aquac. Soc. 28: 91-96.

Leeser, M.M. y C.W. Walker. 1998. Introduction to special section on sea urchin aquaculture. J. Shellf. Res. 17:1505-1506.

Lelevier-Grijalva, A. y Palleiro-Nayar, J.S. 1987. Evaluación preliminar del stock de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California. 139-146. En: M. Ramírez R. (ed.). Simposium sobre investigación en biología y oceanografía pesquera en México. SEP-CICIMAR-CONACYT. México.

Lessios, H.A. 1981. Reproductive periodicity of the echinoids *Diadema* and *Echinometra* on the two coasts of Panama. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 50:47-61.

Levitan, D.R. 1988. Algal-urchin biomass responses following mass mortality of *Diadema antillarum* Philippi at Saint John, U. S. Virgin Islands. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 119: 167-178.

Levitan, D.R. 1991. Skeletal changes in the test and jaw of the sea urchin *Diadema antillarum* in response to food limitation. Mar. Biol. 111: 431-435.

Levitan, D.R., M.A. Sewell y F.S. Chia. 1992. How distribution and abundance influence fertilization success in the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* Ecol. 73: 248-254.

Lluch-Cota, S.E. 2000. Costal upwelling in the eastern Gulf of California. Ocean. Acta. 23 (6): 731-740.

Lumingas, L. J. y M. Guillou. 1994. Growth zones and back-calculation for the sea urchin, *Sphaerechinus granularis*, from the Bay of Brest, France. J. Mar. Biol. Ass. UK. 74: 671-686.

Maluf, L.Y. 1988. Biogeography of the central eastern Pacific self echinoderms. En: Burke R.D., Mladenov P.V., Lambert P. y Parsley R.L. (ed.). Echinoderm Biology. Balkema, Rotterdam. 389-398.

Marquardt, D.W. 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. J. Soc. Ind. App. Math. 11: 431-441.

McClanahan, T.R. y N.A. Muthiga. 2001. The ecology of *Echinometra*. En: John M. Lawrence (ed.). Edible Sea Urchin: Biology and Ecology. Elsevier, Amsterdam. 225-244.

McEduard, L.R. y B.G. Miner. 2001. Echinoid larval ecology. En: John M. Lawrence (ed.). Edible Sea Urchin: Biology and Ecology. Elsevier, Amsterdam. 59-78.

McPerson B. F. 1969. Studies on biology of the tropical sea urchin, *Echinometra lucunter* and *Echinometra viridis*. Bull. Mar. Scien. 19:194-213.

Mottet, M. G. 1976. The fishery biology of sea urchins in the family Strongylocentrotidae. Washington Department of Fisheries. Technical Report No. 20. 65 p.

Munk, J.E. 1992. Reproduction and growth of green urchins *Strongylocentrotus droabehchiensis* (Müller) near Kodiak, Alaska. J. Shellf. Res. 11:245-254.

Muthiga, N.A. 1996. The role of early life history strategies on the population dynamics of the sea urchin *Echinometra mathaei* (de Blainville) on reefs in Kenya. PhD thesis, University of Nairobi.

Olguín-Espinoza, I. 2000. La pesquería de erizo en México: Situación actual y perspectivas de desarrollo. Pesca y Conservación. 4 (10):5-6.

Palleiro-Nayar, J.S., D. Aguilar-Montero, y J.M. Romero.1991. La pesquería del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California, México. En: Sergio A. Guzmán del Prío (ed.). Taller México-Australia sobre reclutamiento de recursos bentónicos de la Baja California. Secretaria de Pesca. México. IPN. 81-89.

Pearse, J.S. y A.H. Hines. 1987. Long-term population dynamics of sea urchins in a central California kelp forest: rare recruitment and rapid decline. Mar. Ecol. Prog. Ser. 39: 275-283.

Reinecke-Reyes, M.A. 1998. Ciclo de madurez y talla de reclutamiento reproductor de abulón azul *Haliotis fulgens* Philippi: 1845 de Cabo San Lázaro en Isla Magdalena Baja California Sur, México. Boletín Pesquero CRIP-La Paz. 9: 1-11.

Reyes-Bonilla, H. 1995. Asteroidea and Echinoidea (Echinodermata) of Isla San Benedicto, Revillagigedo Archipelago, México. Rev. Inv. Cient. Ser. Cienc. Mar. 6: 29-38, 1995.

Reyes-Bonilla, H. 2001. Effects of the 1997–1998 El Niño–Southern Oscillation on coral communities of the Gulf of California, México. Bull. Mar. Sci. 69: 251-266.

Reyes-Bonilla, H. y L.E. Calderón-Aguilera. 1999. Population density, distribution and consumption rate of three corallivores at Cabo Pulmo reef, Gulf of California, México. Mar. Ecol. 20:347-357.

Romero-Juárez, R. y R. Searcy-Bernal. 1994. Modelo de crecimiento de von Bertalanffy para la almeja pismo (*Tivela stultorum*) a partir de datos de edad-longitud de capturas comerciales. *Cienc. Mar.* 20:81-92.

Romero-Orozco, E.J. y H. Bertsch. 1984. Efectos de la pesquería del erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus* (Echinodermata) sobre la estructura de su población en Santo Tomás, Baja California, México, con una comparación de métodos de muestreo. *Cienc. Mar.* 10:85-95.

Rudie, D. 1992. The Southern California red sea urchin fishery 1972-1992. Proceeding of the conference: The management and enhancement of sea urchins and other kelp bed resources: A Pacific Rim perspective. California Sea Grant College. 14-23 p.

Sakai, Y. y K. Tajima. 2003. Mass production of seed of japanese edible sea urchins *Strongylocentrotus intermedius* and *Strongylocentrotus nudus*. 287-298. En: John M. Lawrence y Oscar Guzmán (eds.). Sea Urchin Fisheries and Ecology. Proceedings of the International Conference on Sea-Urchin Fisheries and Aquaculture. Puerto Varas, Chile. 402 p.

Sala, E. y M. Zabala. 1996. Fish predation and the structure of the sea urchin *Paracentrotus lividus* populations in the NW Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 140:71-81

Salgado-Rogel, Ma. De L., J.S. Palleiro-Nayar, M. Romero-Martínez y D. Aguilar-Montero. 2003. En: I Foro de Intercambio Científico Sobre Recursos Bentónicos de México. Biología, Ecología, Pesquerías y Acuacultura. Memorias (resúmenes). I.N.P. La Paz, B.C.S., México. Del 1 al 3 de Septiembre de 2003.

Sánchez-Rodríguez, I. y R. Cervantes-Duarte. 1999. Longitud y biomasa de *Sargassum sinicola* et Gardner (Phaeophyta) en Bahía Magdalena, Baja California Sur. Hidrobiologica-Iztapalapa. 9:117-124.

Saucedo, P. y M. Monteforte. 1997. In situ growth of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) and *Pteria sterna* (Gould 1851) under population conditions at Bahía de la Paz, Baja California Sur, Mexico. Aquac. Res. 28:367-378.

Scheibling, R.E. y P.V. Mladenov. 1988. Distribution, abundance and size structure of *Tripneustes ventricosus* on traditional fishing grounds following the collapse of the sea urchin fishery in Barbados. En: Burke R.D., Mladenov P.V., Lambert P. y Parsley R.L. (Ed.). Echinoderm Biology. Balkema, Rotterdam. 449-455.

Sloan, N.A. 1985. Echinoderm fisheries of the world: A review. En: Brendan F. Keegan y Brendan D.S. O'Conor (eds.). Echinodermata: Proceeding of the fifth international echinoderm conference, Galway/ 24-29 Sep. 1984. Balkema, Rotterdam. 109-124.

Smith, B.D., L.W. Botsford y Wing, S.R. 1998. Estimation of growth and mortality parameters from size frequency distributions lacking age patterns: the red sea urchin

(*Strongylocentrotus franciscanus*) as an example. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55:1236-1247.

Solís-Bautista, J.C. 2003. Estructura de la población de *Quoyula madreporarum* (Sowerby, 1834) (Gastropoda: Coralliophyllidae) en Punta Arena de la Ventana, Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura. Univ. Autónoma de Baja California Sur. 83 p.

Solís-Marín, F.A., M.D. Herrero-Pérezrul, A. Laguarda-Figueras y J. Torres-Vega. 1993. Asteroideos y equinoideos de México (Echinodermata). En: Salazar Vallejo, S.I y E. González-Navarro (ed.). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO/CIQRO. México. 91-105.

Solís-Marín, F.A., H. Reyes-Bonilla., M.D. Herrero-Pérezrul, O. Arizpe-Covarrubias y A. Laguarda-Figueras. 1997. Sistemática y distribución de los equinodermos de la Bahía de La Paz. Cienc. Mar. 23(2): 249-263.

Soto-Mardones, L., S.G. Marione y A. Parés-Sierra. 1999. Variación espacio temporal de la temperatura superficial del mar en el Golfo de California. Cienc. Mar. 25: 1-30.

Sparre, P. y S. C. Venema. 1995. Introducción a la evaluación de recursos pesqueros tropicales. FAO Documento Técnico de Pesca No. 306/1. DANIDA-FAO, Roma. 420 p.

Steneck, R.S., M.H. Graham, B.J. Bourque, D. Corbett, J. M. Erlandson, J. A. Estes y M.J. Tegner. 2002. Kelp forests ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environ. Conser.* 29 (4):436-459.

Stotz, W.B. 2003. Sea urchin fisheries: A Chilean perspective. 3-17. En: John M. Lawrence y Oscar Guzmán (eds.). *Sea Urchin Fisheries and Ecology. Proceedings of the International Conference on Sea-Urchin Fisheries and Aquaculture.* Puerto Varas, Chile. 402 p.

Suárez-González, I. 2001. Estructura de la comunidad de moluscos (Mollusca: Bivalvia y Gastropoda) asociados a cabezas de *Pocillopora* (Scleractinia) en Ensenada de Muertos, Baja California Sur, durante 1997–1998. Tesis de Licenciatura. Univ. Autónoma de Baja California Sur. 72 p.

Tegner, M.J., y Dayton, P.K. 1981. Population structure, recruitment and mortality of two sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *S. Purpuratus*) in a the kelp forest. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5: 255-268.

Turon, X., G. Giribet., López, S., y Palacín, C. 1995. Growth and population structure of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in two contrasting habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 122: 193-204.