

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



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

**DINÁMICA DE LA POBLACIÓN DE ERIZO ROJO
Strongylocentrotus franciscanus SUJETA A EXTRACCIÓN
COMERCIAL EN BAJA CALIFORNIA.**

TESIS

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

Presenta:

JULIO SAID PALLEIRO NAYAR

Ensenada, Baja California, Agosto del 2004.

RESUMEN de la tesis que presenta **Julio Said Palleiro Nayar**, como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ECOLOGÍA MARINA. Ensenada, Baja California.

DINÁMICA DE LA POBLACIÓN DE ERIZO ROJO *Strongylocentrotus franciscanus* SUJETA A EXTRACCIÓN COMERCIAL EN BAJA CALIFORNIA.

Resumen aprobado por:

Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Director de Tesis

La pesquería de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California inicio en 1972, su primera reglamentación oficial fue a partir de 1987 cuando se estableció una talla mínima de captura, época de veda y otras disposiciones que derivaron a la reglamentación actual en la NOM-07-PESC-1993. Las capturas anuales reportadas de erizo rojo alcanzaron un máximo en 1986 con 8,500 t de peso vivo, disminuyendo a menos de 2,000 t en las últimas temporadas de pesca, el número de equipos registrados en la pesquería ha fluctuado entre 250 a 300 en las últimas 10 temporadas.

El objetivo general de este trabajo fue conocer la situación en que se encuentran los stocks pesqueros de *S. franciscanus* en Baja California, después de tres décadas de extracción continua y poder determinar puntos de referencia biológicos objetivo, para ser utilizados en los Planes de Manejo que se elaboren para esta importante pesquería ribereña.

Se realizó una recopilación e integración de la información de la pesquería de erizo rojo utilizando: datos crudos, bases de datos y estudios realizados por personal del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Ensenada, para ser analizados en un contexto integral. La información consistió en datos de la bitácora de pesca, avisos de arribó, muestreos de la captura comercial y estimaciones de la densidad y estructura de la población realizada para algunas áreas desde 1980 a 2003.

Para evaluar la tendencia en la abundancia relativa (CPUE) se aplicó Modelo General Lineal, se observó una disminución drástica en la abundancia relativa para la temporada 2001-02 del 68.31% con respecto a la abundancia de referencia de la temporada 1988-89. Esto nos indica una disminución de la disponibilidad del recurso, ya que el esfuerzo de pesca en cuanto a número de días trabajados se ha mantenido similar durante las últimas temporadas de captura.

Por medio de un Análisis Virtual de Poblaciones, se estimó una biomasa total de erizo rojo de 5,773 t para Baja California con base en la información de 2002-03.

Se recomiendan puntos de referencia objetivo, para el manejo de los stocks pesqueros de erizo rojo en Baja California.

Palabras clave: Dinámica de población, pesquería, erizo rojo.

ABSTRACT of the thesis presented by **JULIO SAID PALLEIRO NAYAR** as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in MARINE ECOLOGY.

STOCK ASSESSMENT OF THE RED SEA URCHIN *Strongylocentrotus franciscanus* IN BAJA CALIFORNIA.

Abstract approved by:

Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Thesis director

The Baja California red sea urchin fishery began in 1972. First regulations appeared in 1987 enforcing minimum legal size and closing seasons. Since 1993 this fishery has been regulated based on the NOM-07-PESC. Annual landings for reached a maximum in 1986 with 8,500 t dropping to around 2,000 t in the last fishing seasons (2002-2003), although the number of permitted divers (fishing effort) has not been incremented during the last 10 fishing seasons and fluctuated between 250 and 300 divers.

The aim of this thesis is to describe the status of the red sea urchin fishing stocks in Baja California after 3 decades with intense fishing and to explore biological reference points to be used in management plans of this important coastal fishery.

The information used for this study belonged to the Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada (INP) data base that included: raw data (log books, landing reports, data of commercial samples and field surveys) and internal reports since 1980 to 2003.

To describe the trends on relative abundance (CPUE) a General Linear Model was used. Results showed a drastic drop (68.32%) in the abundance from the 1988-1989 to 2002-2003 fishing seasons. This shows that today red sea urchin is less available for the fishermen, because they have applied the same fishing effort in numbers of days in the last seasons.

For the last fishing season (2002-03) a total standing biomass 5,773 t for red sea urchin in Baja California was calculated using a Virtual Population Analysis methodology. Other biological reference points were also calculated, including mortality rates, number of urchin allowed to be fished beyond of the minimum legal size, stock density and stock biomass.

Key words: Stock assessment, fishery, red sea urchin.

Dedicatoria

A mi esposa Lupita

A mis hijos Said y Negmi

A mis padres Julio y Judith

A mis hermanos Mary, Yuly y Salim

A Dios por todas sus bendiciones

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Dr. Oscar Sosa Nishizaki por su apoyo y paciencia, por ser excelente persona y amigo.

Al comité de tesis integrado por la Dra. Sharon Herzka Llona, Dra. Lydia Ladah y Dra. Ma. Del Pilar Sánchez Saavedra, por su valiosa orientación y consejos.

A mis compañeros del CRIP Ensenada que han participado en el Proyecto Erizo desde 1988, especialmente a M.C. Ma. Lourdes Salgado, Ocean. David Aguilar, M.C. Alfredo Cota, Juan Manuel Romero y Francisco Javier Martínez.

Al Director del CRIP M.C. Julian Guardado Puentes y al Director en Jefe del INP Dr. Guillermo Compean, por su apoyo durante los dos años de la maestría.

Al Ocean. Cesar Almeda Jáuregui por su apoyo y orientación con los programas de computó.

A mis Compañeros del Laboratorio de Ecología Pesquera en especial a Carmen Rodríguez Medrano.

A los Permisionarios y Concesionarios de erizo en Baja California.

Al CONACYT por brindarme la oportunidad de continuar aprendiendo.

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Equipos dedicados a la captura de erizo rojo en Baja California, desde 1979 a 2003.	10
2	Captura de erizo rojo en Baja California de 1972 a 2003.	11
3	Área de estudio y zonas de pesca de erizo rojo en Baja California	17
4	Captura, esfuerzo y CPUE de el erizo rojo en toda su área de captura en Baja California	29
5	Abundancia relativa estimada por un Modelo General Lineal de la CPUE para el erizo rojo en Baja California.	31
6	Captura por unidad de esfuerzo promedio de erizo rojo por zona de pesca en Baja California.	32
7	Captura y CPUE de erizo rojo por zona de pesca en Baja California en las temporadas 1988-89 a 2002-03.	33
8	Esfuerzo empleado en la pesquería de erizo rojo por zona de pesca en Baja California temporadas 1988-89 a 2002-03	34
9	Histogramas de frecuencias de talla de erizo rojo en la captura comercial. Muestreos realizados por personal del CRIP en las Plantas de Procesamiento de gónada en Baja California	38
10	Histograma de talla de erizo rojo en la captura comercial por zona de pesca en la temporada 2002-03.	39
11	Porcentaje de organismos <80 mm (talla mínima) para el erizo rojo, en la captura Comercial de Baja California	40
12	Resultado del Análisis Virtual de Población de erizo rojo en Baja California. Datos de la temporada 2002-03	42

LISTA DE FIGURAS (continuación)

Figura		Página
13	Estimación de biomasa por intervalo de talla de erizo rojo. Análisis Virtual de Población. Datos de la temporada 2002-03	44
14	Distribución de talla de erizo rojo para cada zona de pesca. Muestreos efectuados de junio a octubre de 2003.	45
15	Relación entre la talla y peso total de erizo rojo. Muestreos de campo realizados en los meses de junio a octubre de 2003.	46
16	Densidad de erizo rojo m^{-2} por zona de pesca en distintas campañas de muestreo de 1980 a 2003.	47

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Tipo de información y años analizados	18
II	Captura promedio de erizo rojo en Baja California, entre 1988 a 2002 n= 15 temporadas	28
III	Captura y esfuerzo promedio para cada zona de pesca de erizo rojo en Baja California.	31
IV	Rendimiento, producción de gónada y clasificación por zona de pesca para la temporada 2002-03 de erizo rojo en Baja California.	35
V	Datos de la importación de gónada de erizo a Estados Unidos proveniente de México, para las temporadas 2000-01 a 2002-03	36
VI	Mortalidad por pesca, reducción de individuos y talla de reclutamiento a la pesquería de erizo rojo en Baja California.	41
VI	Estimación de la biomasa total de erizo rojo en Baja California, para la temporada 2002-03	43

I. INTRODUCCION

El propósito de la extracción de erizo de mar es por sus gónadas, las cuales son utilizadas para consumo humano directo. La captura de erizos de mar a nivel mundial, está soportada por 20 especies de las cuales 7 pertenecen a la familia Strongylocentrotidae. Estas son capturadas en Canadá, Estados Unidos, Rusia, Islandia, Japón y México. El principal productor de gónada de erizo en el mundo es Chile, el cual aporta aproximadamente el 50 % de la producción mundial (Andrew, *et al.*, 2002).

Los primeros intentos de extracción de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (Agassiz, 1863) en Baja California fueron a finales de los 60's por una compañía japonesa. Sin embargo la explotación a nivel comercial se inició en 1972 formalmente (Malagrino, 1972). En México, se exporta la totalidad de la producción de gónada de erizo al mercado Japonés y no existe consumo nacional.

La gónada de erizo proviene de organismos hembras y machos, y no hay preferencia en el mercado en función de género. Su comercialización puede ser en fresco o congelado, pero tiene mucho mejor precio la primera. La presentación del producto puede ser empacado en charola o en caja de madera de diferentes

tamaños (conteniendo de 70 a 100 gr). Existen tres clasificaciones de gónada de erizo (primera, segunda y tercera) con base en su coloración: primera amarillo a naranja claro; segunda naranja obscura y tercera café claro).

En la actualidad, la pesquería de erizo rojo en Baja California genera 1,570 empleos directos (pescadores y empleados de plantas) y divisas de 5 a 6 millones de dólares por temporada. En la temporada de pesca 2002-2003, trabajaron 35 permisionarios y 2 concesionarios con un total de 264 equipos de pesca. También operaron 19 plantas procesadoras de gónada de erizo ubicadas principalmente en Ensenada, San Quintín y El Rosario. Estas emplearon directamente a 770 personas con sueldos de 10 a 12 pesos por hora y las cuales trabajan jornadas diarias en función al erizo recibido.

Las capturas del erizo se realizó mediante el buceo semi-autónomo (con un compresor de aire) por medio de embarcaciones menores de 6-7 m de eslora con un motor fuera de borda. Participan en las operaciones de pesca 3 personas: un motorista, un cabo de vida y un buzo. El valor de la captura depende de la calidad de la gónada de erizo, por lo que la captura es selectiva, los buzos realizan un muestreo preliminar para evaluar el color y tamaño de la gónada (Palleiro-Nayar *et al.*, 1988).

I. 1. ANTECEDENTES BIOLÓGICOS.

El erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus*, es un equinoideo de simetría radial, que posee un caparazón de carbonato de calcio cubierto por espinas primarias y secundarias. Esta especie se distribuye geográficamente desde Alaska hasta Isla de Cedros, Baja California. Su distribución batimétrica es por lo general de los 3 a 50 m; pero se ha reportado hasta 125 m de profundidad (Mottet, 1976). Los erizos habitan en fondos rocosos comúnmente asociados a la comunidad de los mantos de *Macrocystis pyrifera* (Tegner y Dayton, 1981).

Es un organismo herbívoro que puede consumir diversos tipos de algas, aunque pastorea preferencialmente frondas de *Macrocystis pyrifera* en función de su disponibilidad (Leighton, 1966; 1971). Su aparato bucal se denomina linterna de Aristóteles y se localiza en la parte inferior del organismo pegada al sustrato (Storer *et al.*, 1975).

Los movimientos de los erizos principalmente se deben a la búsqueda de alimento, se han reportado diferencias significativas en el movimiento de erizo rojo dentro y fuera del manto de *Macrocystis*; dentro del manto donde existe alimento en abundancia el movimiento promedio fue de 7.5 cm por día a diferencia de fuera del manto donde el alimento es relativamente más escaso, el movimiento promedio fue mayor de 50 cm por día (Matisson *et al.*, 1977). Sin embargo, se ha observado una mayor abundancia de erizo rojo al rededor del

manto de *Macrocystis* que en su interior (Pearse *et al.*, 1970; Low, 1975; Tegner y Dayton, 1981).

El erizo rojo puede ser considerado como especie clave en la comunidad de los mantos de *Macrocystis pyrifera*, no solo por que es un consumidor importante de esta alga, sino que mantiene una relación de competencia por espacio y alimento con el erizo morado *S. purpuratus* y esta especie si pueden afectar la abundancia y distribución de esta importante alga café, cuando las densidades de erizo morado son altas (Tegner, 2001).

El erizo rojo es una de las especies de equinodermos de mayor tamaño en el mundo con tallas máximas de 20 cm de diámetro (Mottet, 1976). Los factores afectan la tasa de crecimiento del erizo y el tamaño máximo son principalmente, temperatura (gradiente latitudinal), la disponibilidad y valor nutricional de las algas utilizadas como alimento, la competencia por espacio y alimento (Leighton, 1971; Baker, 1973).

El color de la gónada depende del tipo de alimento que el erizo consume (Mottet, 1976). En estudios de laboratorio se ha observado que cuando el erizo rojo se alimenta de *Macrocystis pyrifera* presenta un crecimiento mayor que cuando se alimenta con otras algas (Tegner, 1989). Posiblemente porque *Macrocystis pyrifera* (con sus epífitas) contiene concentraciones más altas de proteínas que otras algas (Wheeler y North, 1981).

El erizo es un organismo dióico, que no presenta dimorfismo sexual. Su aparato reproductor son cinco gónadas unidas por mesenterios en la parte interna del caparazón. En Baja California la época de desove del erizo rojo es de febrero a mayo, y la talla de primera madurez se alcanza a un tamaño de 50 a 60 mm de diámetro del caparazón (Ruíz-López *et al.*, 1987; Urías-González, 1994).

Los gametos del erizo son expulsados al medio y la fecundación es externa. Después de doce horas los huevos fecundados alcanzan el estadio de blástula y se dirige a la superficie en donde ocurre el paso a gástrula y a una larva llamada prisma de 200-230 μm después a la larva llamada equinopluteos de 4, 6 y 8 brazos de 400 a 675 μm . Los brazos presentan bandas de cilios, estos son usados para la locomoción y colecta de pequeños microorganismos del fitoplancton que sirven como alimento (Reyes-Ramírez, 2002).

La permanencia de la larva de erizo rojo en el plancton es de uno a dos meses, Cameron y Schroeter (1980) reportaron que en tanques de cultivo ocurre el asentamiento en 30 a 50 días a una temperatura de 12° C. La mortalidad de las larvas es muy alta, son alimento de varias especies del zooplancton y de larvas de peces, pueden ser trasportadas por las corrientes fuera de la costa, y morir por falta de alimento o por no encontrar un sustrato para su asentamiento (Wing *et al.*, 1998). La talla de asentamiento del erizo rojo es de aproximadamente 0.4 mm (Rogers-Bannet *et al.*, 1994) y el sustrato preferido son rocas con algas rojas y algas coralinas (Rowley, 1990).

El reclutamiento del erizo rojo a su población bentónica es muy variable, y depende en gran parte de condiciones oceanográficas como los patrones de corrientes, surgencias y giros costeros (Botsford, 2001). Al norte de California, E.U.A. se ha observado un mayor asentamiento de erizo durante periodos de relajación de las surgencias (Wing *et al.*, 1998; Morgan *et al.*, 2000). En comparación con las poblaciones del sur de California con un alto nivel de reclutamiento (Tegner y Dayton, 1981; Ebert, 1983; Wing, *et al.* 1995; Morgan *et al.*, 2002). El reclutamiento anual de erizo rojo se ha reportado bajo y muy variable en British Columbia en Canadá (Bernal y Miller, 1973; Breen *et al.*, 1978) en Washington y Oregon, E.U.A. (Miller y Emlet, 1997).

La mortalidad después del asentamiento también es alta, ya que existen una gran cantidad de depredadores de erizos pequeños, incluyendo los cangrejos (*Cancer spp*), estrellas de mar (*Patiria miniata*, *Astrometis sertulifera*, *Pynopodia helianthoides*, *Dermasterias imbricata*), la langosta roja (*Panulirus interruptus*) y peces como la vieja (*Semicosyphus pulcher*). Este último considerado por varios autores como el principal depredador de erizos juveniles en el sur de California (Quast, 1968; Feder *et al.*, 1974; Tegner y Dayton, 1981; Cowen, 1983).

Los erizos juveniles (10 a 30 mm de diámetro de caparazón) son susceptibles a los mismos depredadores de los erizos recién asentados. Sin embargo, se protegen en las hendiduras de las rocas o bajo las espinas de los erizo de mayor tamaño (Tegner y Dayton 1977, 1981).

Eventos El Niño afectan al erizo rojo disminuyendo las algas a la deriva causando menor disponibilidad de alimento. También se ha observado menores tasas de reclutamiento y cambios en la densidad de organismos en varios sitios en California (Tegner y Dayton, 1991). Las altas temperaturas pueden afectar la tasa de asimilación de alimento en el erizo rojo y generar un mayor gasto energético en su metabolismo, siendo su rango óptimo de alimentación de 15 a 17 °C en San Diego California (Leighton, 1971).

En los estudios genéticos de las poblaciones de erizo rojo en norteamérica, no se ha encontrado estructura genética en las poblaciones de erizo en Canadá y en los Estados Unidos de América, como consecuencia del flujo genético por la dispersión larvaria (Paulumbi y Wilson, 1990; Moberg y Burton, 2000). Por lo que los nuevos esquemas de manejo de este recurso, incluyen la incorporación de Áreas Marinas Protegidas, para poder conservar a sus poblaciones (Dayton *et al.*, 1995; Karpov *et al.*, 2001; Rogers-Bennett y Pears, 2001).

En norteamérica la especie *S. franciscanus* se encuentra sujeta a una pesca comercial alta desde 1970. Otras dos especies de erizo que se capturan, aunque en menores cantidades son el erizo morado (*S. purpuratus*) y erizo verde (*S. droebachiensis*). Aunque la pesca se efectúa principalmente sobre el erizo rojo. La disminución de depredadores de las todas las especies de erizo por langostas, peces y cangrejos, ha propiciado que el erizo morado en

California y Baja California aumente su área de distribución vertical y su abundancia en lugares más profundos (15-20 m), propiciando una mayor competencia por espacio y alimento con el erizo rojo. (Kato y Schroeter, 1985; Andrew *et al.*, 2002).

I. 2. PESQUERIA DE ERIZO ROJO EN BAJA CALIFORNIA

Las primeras investigaciones biológico-pesqueras de erizo rojo en Baja California estuvieron relacionadas con la descripción de su crecimiento individual (Farías-Sánchez, 1980; Palleiro-Nayar, 1982). Posteriormente, Lelevier-Grijalva y Palleiro-Nayar (1987) realizaron una evaluación preliminar del stock pesquero con base en la evaluación de la captura comercial en 1984 por medio de muestreos realizados en las plantas de procesamiento de gónada de erizo. Estimaron que la tasa de mortalidad por pesca instantánea era de $F=0.45$ y la tasa de explotación era de $E= 0.68$ con una talla de reclutamiento a la pesquería de 75 mm de diámetro de caparazón. Estos datos junto con estudios histológicos de las gónadas de erizo (época de reproducción y talla de primera madurez), sirvieron para recomendar las primeras medidas de administración del recurso (Palleiro-Nayar y Lelevier-Grijalva, 1986)

Actualmente la captura está regulada por la norma NOM 007-PESC-1993, en la cual se especifica que el método de extracción autorizado es el

buceo, la talla mínima de captura es de 80 mm de diámetro de caparazón y una época de veda de marzo a junio de cada año. Así mismo la norma establece la recepción de erizo entero en la planta de proceso y la entrega de bitácoras de pesca por día de trabajo para cada productor (Palleiro-Nayar *et al.*, 1996).

El número de equipos utilizados en la pesca del erizo rojo ha presentado variaciones, se cuenta con registros desde 1979, cuando 110 equipos fueron autorizados (Fig. 1). Durante 1980-85, el número de equipos disminuyó a 50 (por el efecto de El Niño y bajos precios de gónada en el mercado japonés) y aumentó nuevamente en 1986 a 220 equipos al incorporarse varias organizaciones Ejidales. Para la temporada 1988-89 se registraron el máximo histórico de 320 equipos, reduciéndose a 264 equipos para la temporada 2002-03.

Existen diferencias en la producción de gónada por buzo, dependiendo de su habilidad y destreza. Pérez-Rodríguez (1995) analizó la captura y esfuerzo de un permisionario dedicado a la captura de erizo rojo con 10 equipos de pesca, realizando una comparación en la eficiencia de captura por cada buzo, encontrando diferencias significativas en la CPUE de dos temporadas analizadas.

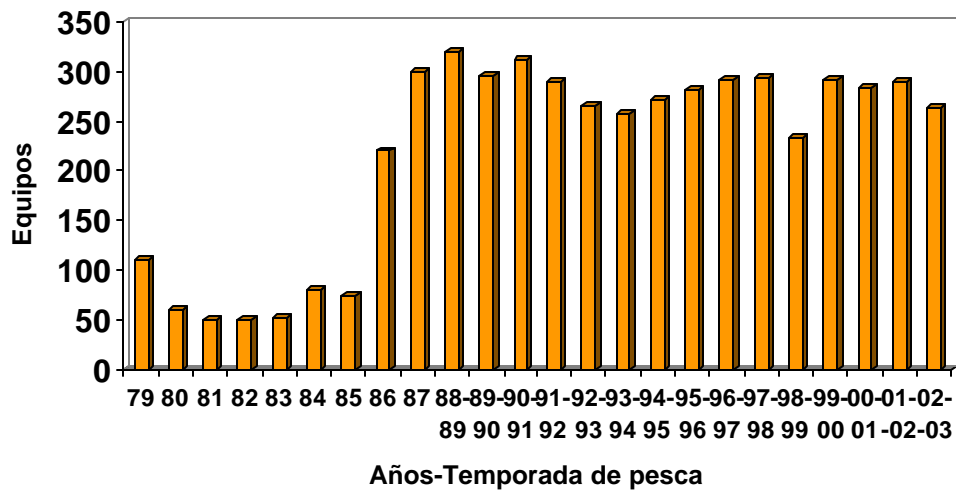


Figura 1.- Equipos dedicados a la captura de erizo rojo en Baja California, de 1979 a 2003. Fuente: datos del Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Ensenada.

Las capturas registradas de erizo rojo en Baja California desde 1972 hasta la fecha (Fig. 2), presentó en 1979 su primer repunte con 5,700 t de peso entero. El período de decremento en 1980-83 se atribuyó a la baja disponibilidad del recurso y al impacto del El Niño que ocurrió durante 1982-1983 (Palleiro-Nayar *et al.*, 1996). La captura se incrementó en 1986 con 8,500 t. Un tercer repunte se dio en 1989 con 5,500 t para posteriormente disminuir nuevamente en 1998 a 806 t, como consecuencia a El Niño de 1997-1998. En la última temporada la captura 2002-03 la captura fue de 1,495 t de erizo rojo.

A partir de la temporada 1989-90 el Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) recomendó cuotas máximas de captura de erizo rojo con

base en estimaciones del rendimiento máximo sostenible. Estas cuotas no se respetaron, con las excepciones de años afectados por el evento El Niño durante los cuales fue menor la captura por la reducción del rendimiento de la gónada (Fig. 2) y también por los bajos precios de la gónada en el mercado japonés en esos mismos periodos (Palleiro-Nayar *et al.*, 2003).

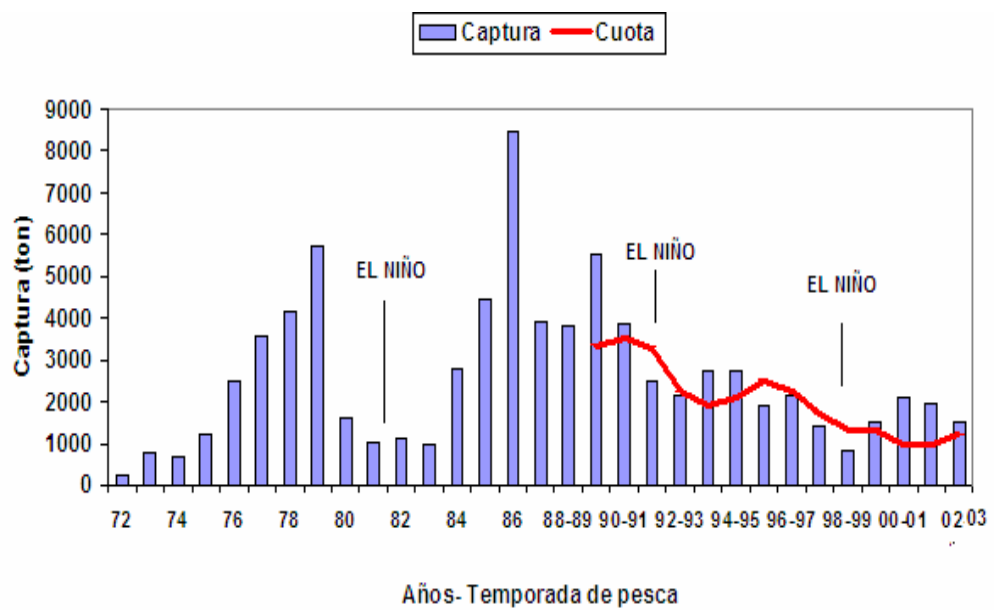


Figura 2.- Captura del erizo rojo en Baja California de 1972 a 2003 y la cuota de captura propuesta de 1990 a 2003. Fuente: CRIP Ensenada.

I. 3. Manejo del recurso.

El Instituto Nacional de la Pesca a través del CRIP Ensenada es responsable de proponer las estrategias de manejo de erizo rojo en Baja California a las autoridades Pesqueras Federales. En el manejo de este recurso se ha utilizado el concepto del máximo rendimiento sostenible (M.R.S.). Este enfoque requiere calcular el máximo rendimiento, definido como la máxima captura en función de un esfuerzo óptimo. Esto se obtiene mediante la evaluación de las capturas en función del esfuerzo y se observa el decaimiento en las capturas con respecto a cierto nivel de esfuerzo empleado, sin embargo esta estrategia puede propiciar la sobreexplotación del recurso, ya que es muy difícil controlar el esfuerzo pesquero posteriormente.

Los supuestos del modelo de máximo rendimiento sostenible son 1) que la captura es independiente de la talla o edad del organismo, 2) las unidades de esfuerzo son independientes del nivel de esfuerzo, 3) la pesquería opera sobre un sólo stock, 4) la población de organismos está distribuida uniformemente y 5) la mortalidad natural y por pesca es simultánea durante todo el año. Como el modelo M.R.S. sólo utiliza datos de captura y esfuerzo pesquero estos datos deben de ser confiables. Las desventajas del modelo son que no se puede incorporar al análisis información de condiciones climáticas adversas, variaciones en el reclutamiento de ciertas clases de edad, cambios en la

composición de la edad o talla de los individuos del stock, cambios en la capacidad de carga, y los efectos potenciales de competencia, depredación y degradación del hábitat (Wooster, 1988).

La estrategia de manejo con el concepto de M.R.S ha traído como consecuencia la eliminación de algunos substocks de arenque, bacalao, salmon en pesquerías de varios países, al no poder controlar la distribución y cantidad del esfuerzo pesquero (Hilborn y Walters, 1993).

En 1997 el Instituto Nacional de la Pesca mediante el uso del Modelo Dinámico de Producción Excedente de Schaefer Modificado (MDPEM), determinó que el erizo rojo se encuentra por debajo del nivel de su máxima productividad, por lo que se catalogó como una pesquería en deterioro (INP-SEMARNAP 1998).

Para el manejo de la pesquería de erizo es necesario contar con puntos de referencia objetivo, que permitan evaluar conforme transcurre la temporada de pesca la situación de aspectos como tallas sublegales, mortalidad por pesca, densidades y biomasa total.

I. 4. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Es posible incorporar nuevos elementos para el manejo del recurso *S. franciscanus* Baja California, con base en el análisis de la información de la pesquería y de la situación de los stock pesqueros.

I. 5. OBJETIVO GENERAL

Describir la dinámica poblacional del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* a lo largo de su distribución en la costa occidental de Baja California y conocer la situación de sus stocks pesqueros analizando datos dependientes de la pesquería y estimaciones directas de su población.

I. 6. OBJETIVOS PARTICULARES

1.- Analizar la captura, esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en toda el área de pesca de erizo rojo y en cada una de las cuatro zonas de pesca de 1988 a 2003.

2.- Elaborar un Modelo General Lineal de la CPUE de erizo rojo para observar la tendencia del recurso.

3.- Analizar la distribución de frecuencias de tallas obtenidas por medio de muestreos realizados (1988-2003) en las plantas de procesamiento de gónada de erizo.

4.- Estimar la tasa de mortalidad por pesca instantánea y la talla de reclutamiento a la pesquería de erizo rojo en las últimas nueve temporadas de captura.

5.- Utilizar el método de Análisis Virtual de Poblaciones, para estimar la biomasa total y la mortalidad por pesca para cada cohorte para la temporada 2002-03.

6.- Estimar la densidad y distribución de tallas de erizo rojo en las principales áreas de captura en las cuatro zonas de pesca durante 2003.

7.- Determinar cuantitativamente Puntos de Referencia (mortalidad por pesca, densidad y biomasa total) para el manejo de la pesquería de erizo rojo en Baja California.

II. METODOLOGIA

II.1. ÁREA DE ESTUDIO

La zona donde se extrae comercialmente el erizo rojo en la costa occidental de Baja California comprende desde los Islotes Coronado a Punta Blanca (32° 30' a 29° 00' latitud norte Fig.3). Se encuentra dentro del Sistema de la Corriente de California. Esta región presenta variaciones estacionales en la temperatura del mar relacionado principalmente a la intensidad y dirección del viento, los cuales favorece la generación de surgencias (principalmente en primavera y verano) que aporta aguas ricas en nutrientes y generan áreas de alta productividad primaria (Parés *et al.*, 1997).

El área de captura de erizo rojo se dividió en cuatro zonas con el objeto de analizar el comportamiento del recurso en cada zona (Fig. 3). Para la selección de las zonas de pesca se tomaron en cuenta que tuvieran características oceanográficas similares (temperatura superficial e índice de surgencias), el número de equipos autorizados, el rango de operación de las embarcaciones y la localización de las plantas de procesamiento de gónada de erizo (Palleiro-Nayar *et al.*, 1988)



Figura 3.- Área de estudio y zonas de pesca de erizo rojo en B. C.

II.2. INFORMACIÓN

La información utilizada en este estudio proviene del Programa Erizo del Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Ensenada del Instituto Nacional de la Pesca. Comprende registros de los permisos y concesiones para la extracción de erizo rojo, avisos de arribo de la captura comercial, bitácoras de producción diaria de la pesquería y muestreos de captura comercial de erizo.

El análisis principal de la información se realizó con datos obtenidos en los años 1988 a 2003, aunque para algunos análisis se utilizaron otros periodos específicos según la información disponible o el tipo de metodología utilizada para censos específicos no dependientes de la pesquería (Tabla I).

Tabla I .- Tipo de información y años analizados

Información	Años	Observación
Captura	1972-2003	Avisos arribo
Esfuerzo CPUE	1988-2003	Bitácora
Modelo General Lineal	1988-2003	Bitácora
Producción Gónada	2002-2003	última temporada
Exportación Gónada	2000-2003	datos disponibles
Captura Comercial	1998-2003	muestreos
Mortalidad Pesca	1994-2003	datos disponibles
Análisis Virtual de Poblaciones	2002-2003	última temporada
Densidad	2002-2003	última temporada
Comparación Densidad	1980-2003	datos disponibles

II.3. ANÁLISIS DE LA CAPTURA, ESFUERZO Y CPUE

La captura oficial se determinó utilizando los avisos de arribo. El esfuerzo pesquero se estimó evaluando las bitácoras de pesca y empleando como unidad de esfuerzo un viaje de pesca (jornada de trabajo de un buzo). La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se reporta en kg por viaje por equipo de extracción. Para calcular la CPUE por temporada y por zona de pesca, se utilizó la relación:

$$CPUE = C / f \quad (1)$$

Donde:

C= captura en kilos

f= esfuerzo (número de viajes)

La información por zona de pesca fue analizada a partir de la temporada 1988-89 (primera temporada en la que se utilizó la bitácora de pesca) y hasta 2002-03. Para facilitar la interpretación, las graficas de captura, esfuerzo y CPUE se identificaron con años en el eje X utilizando el año de inicio de cada temporada.

II.4. MODELO GENERAL LINEAL

Para conocer la tendencia del recurso en función de CPUE se utilizó un Modelo General Lineal (MGL) (Hilborn y Walters, 1992). En este modelo se incluye la CPUE para cada temporada analizada (1988-89 a 2002-03) y la zona de pesca por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(CPUE_{i,n}) = \log(CPUE_{-1988-89}) + \log(a) + \log(\beta) + \epsilon_n \quad (2)$$

Donde:

$CPUE_{i,n}$ = Captura por unidad de esfuerzo en la temporada i en una zona n

$CPUE_{-88-89}$ = Captura por unidad de esfuerzo para la primera temporada 1988-89

a y β = calculados (MGL)

ϵ_n = error

Se usó la CPUE de la temporada 1988-89 como punto de referencia constante (se fija para tener una referencia y observar las variaciones subsecuentes) y se generó una matriz de datos utilizando el programa Excel. El modelo MGL se procesó en el paquete Statistica (Statsoft, 1999). Los resultados se graficaron por temporadas de pesca para observar las tendencias y proporción respecto al valor de referencia.

II.5. PRODUCCIÓN DE GÓNADA

Los datos relativos al procesamiento de la gónada, su clasificación y el rendimiento (peso gónada entre el peso total en porciento) se obtuvieron de la bitácora de pesca para la temporada 2002-03. Se analizaron los datos para cada zona de pesca en lo relativo a rendimiento (proporción del peso gónada entre el peso total) y la clasificación de la calidad de gónada. Adicionalmente, los datos de exportación de gónada para las últimas tres temporadas de captura reportados por el Departamento de Aduanas de E. U. A. se compararon para evaluar el volumen de exportación de gónada de erizo (rojo y morado) y el valor exportado de la exportación declarado por el comercializador.

II.6. ESTRUCTURA DE TALLAS DE ERIZO ROJO EN LA CAPTURA

Para conocer la estructura de tallas de los organismos capturados comercialmente, se utilizaron los datos generados en muestreos masivos de los desembarques de capturas de erizo rojo efectuados por personal del CRIP Ensenada en las plantas de procesamiento ubicadas en Ensenada, San Quintín y El Rosario durante las temporadas de pesca 1988-2003. El tamaño mínimo de muestra fue de 50 kilos de peso entero (4 a 8 erizos por kg), los cuales fueron seleccionados aleatoriamente. Se midió (con un vernier de precisión de 1 mm) el diámetro de caparazón por la parte oral.

Para describir la estructura de tallas, los datos se agruparon por intervalos de 10 mm y se generaron histogramas de frecuencias de tallas por temporada de pesca. Se calculó el porcentaje de organismos por debajo de la talla mínima legal (80 mm) y se evaluó su variación entre temporadas.

La variación en el número de organismos muestreados, fue función de la disponibilidad de recursos con el que contó el personal del CRIP Ensenada para realizar las salidas a las plantas de procesamiento de gónada de erizo del Estado

II.7. ESTIMACIÓN DE LA TASA DE MORTALIDAD POR PESCA Y TALLA DE RECLUTAMIENTO A LA PESQUERÍA

El programa de cómputo FISAT II (FAO 2002) se utilizó para estimar la tasa de mortalidad por pesca ($F \text{ año}^{-1}$) para las temporadas 1994-2003. Se utilizaron los datos de talla de los muestreos comerciales de erizo rojo para estimar de la mortalidad por pesca. Primero se estimó la mortalidad total por medio de la formula:

$$N_1 = N_0 \cdot e^{-Z} \quad (3)$$

Donde:

N_0 es el número (inicial) de organismos

N_1 es el número de organismos que quedan con una mortalidad Z

Z es la tasa instantánea de mortalidad total

La mortalidad total (Z) es la suma de la mortalidad natural (M) y la mortalidad por pesca (F). La mortalidad natural se estimó por medio de una revisión bibliográfica, seleccionando $M = 0.22 \text{ año}^{-1}$ calculada para erizos del sur de California EUA (Ebert *et al.*, 1999)

La tasa de reducción anual se estimó mediante la ecuación

$$\text{Tasa anual de reducción} = 1 - e^{-F} \quad (4)$$

La talla de reclutamiento a la pesquería se estimó con los datos de talla de los muestreos comerciales de erizo utilizando el programa de cómputo FISAT II (FAO 2002). Este cálculo se realiza estimando la probabilidad de capturar el 50 % de los organismos muestreados, determinando una talla específica en función de dos métodos: promedios o logaritmos (la diferencia entre los dos métodos es de aproximadamente 5 a 10 %).

II.8. ANÁLISIS VIRTUAL DE POBLACIÓN

Es muy importante contar con una estimación de biomasa independiente de los datos de captura y esfuerzo. Por esta razón se utilizó el Análisis Virtual de Poblaciones (AVP) para estimar la biomasa de erizo rojo en toda el área de pesca en Baja California.

El método AVP involucra un proceso de retro-cálculo que construye pseudo cohortes para estimar el número de organismos presentes a través del tiempo considerando la mortalidad natural y por pesca de cada cohorte. Por lo tanto, representa una aproximación a la estructura de la población sujeta a extracción comercial con base en el total del número de organismos capturados comercialmente, los cuales son distribuidos en intervalos de talla o edad (Jennings, 2000).

El AVP para el erizo rojo se basó en tallas, ya que es difícil la determinación de la edad en los erizos. Los datos de los muestreos de captura comercial de erizo rojo de la temporada 2002-03, se extrapolaron a toda la captura de la temporada (1,490 t) para estimar el número de organismos por intervalo de talla bajo el supuesto que el muestreo era representativo de toda la captura ($n = 22,783$ erizos).

Los grupos de longitud se convirtieron en intervalos de edad mediante la ecuación de Von Bertalanffy:

$$L_t = L (1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (4)$$

Despejando t_1 tenemos

$$t(L_1) = t_0 + \frac{1}{K} \ln \left(1 - \frac{L_1}{L} \right) \quad (5)$$

Donde:

L = longitud asintótica en mm

K = tasa de crecimiento

t_0 = tiempo en que la talla es cero en el modelo

Se utilizaron los siguientes valores

$L = 151.2$ mm estimado de los propios datos por medio de una subrutina de FISAT (FAO, 2002)

$K = 0.198$ tomado de Palleiro Nayar (1982). No existiendo otra estimación diferente para Baja California.

Para fines comparativos se aplicó una $K = 0.21$ reportada para erizo rojo en San Diego, California (Ebert *et al.*, 1999).

Para el análisis también se requiere tomar en cuenta la mortalidad natural. Se utilizó $M = 0.22$, la cual fue calculada para erizos rojos del sur de California, E.U.A. (Ebert *et al.*, 1999)

La biomasa en cada intervalo de talla se obtiene multiplicando el número de organismos de cada intervalo por su peso promedio (estimado de muestreos biométricos). La biomasa total se obtiene sumando todos los intervalos de talla.

Las limitantes de este análisis es que se debe contar con un muestreo representativo de la captura total y estimaciones adecuadas de la mortalidad por pesca y de la mortalidad natural para obtener resultados robustos.

II.9. ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD POBLACIONAL DE ERIZO ROJO

La densidad de erizo rojo en las principales áreas de captura se evaluó utilizando un muestreo aleatorio estratificado (áreas adyacentes a los mantos de *Macrocystis*). La unidad de muestreo fue cuadrantes de 10 x 2 m (área de 20 m²). El número de cuadrantes para cada zona vario en función del área de ocurrencia de erizo rojo y de la precisión del cálculo de la media poblacional con un error estándar del 0.15. En cada cuadrante se contó el número de erizos rojos y se midió su talla con un vernier (precisión de 1 mm).

Se estimó la densidad (D) por unidad de área

$$D = \frac{N}{A} \quad (6)$$

Donde: N= Número de Individuos
A= Superficie (m^2)

Los muestreos se realizaron entre 10 y 25 m de profundidad durante los meses de junio a octubre del 2003. Para conocer si existen diferencias en la densidad entre las zonas se utilizó el análisis de varianza de una vía (ANOVA) (Zar, 1984).

Se compararon los resultados de densidad por zona de pesca con otras evaluaciones realizadas desde 1980 por el CRIP Ensenada en las mismas áreas de pesca utilizando el mismo método de cuadrantes. Las zonas dos y cuatro fueron las que presentan un mayor número de campañas de evaluación de la densidad de erizo rojo por ser las zonas más importantes en término de su aporte a las capturas en Baja California.

III. RESULTADOS

III.1 Captura, esfuerzo y CPUE global.

La temporada de captura de erizo rojo es de Julio a Febrero (8 meses). Durante las temporadas 1988-89 a 2002-03 se observaron las mayores capturas entre julio y septiembre y las menores entre diciembre y febrero (Tabla II). Este patrón es consecuencia del mayor esfuerzo (viajes de pesca) realizados en el verano y otoño, así como al mal tiempo durante los meses de invierno que reduce los días de pesca.

Tabla II.- Captura promedio (? 95 % int. conf.) de erizo rojo en Baja California entre 1988-89 y 2002-03 (n= 15 temporadas)
Fuente: Avisos de arribo Subdelegación de Pesca.
SAGARPA B.C.

Mes	Captura (ton)
Julio	354 ? 131
Agosto	429 ? 198
Septiembre	324 ? 136
Octubre	331 ? 135
Noviembre	311 ? 132
Diciembre	253 ? 119
Enero	182 ? 92
Febrero	144 ? 91

Para toda el área de pesca de erizo rojo en Baja California las capturas presentan una tendencia de decremento a través del tiempo, disminuyendo de 5,500 t en la temporada 1989-90 a 1,490 t en 2002-03 (Fig. 4). El esfuerzo

promedio fue de 15,878 viajes de pesca por temporada. La reducción del esfuerzo más notable fue durante la temporada 1998-99, cuando los organismos tuvieron bajo rendimiento gonadal como consecuencia de la falta de alimento asociado al evento El NIÑO (Palleiro *et al.*, 2003).

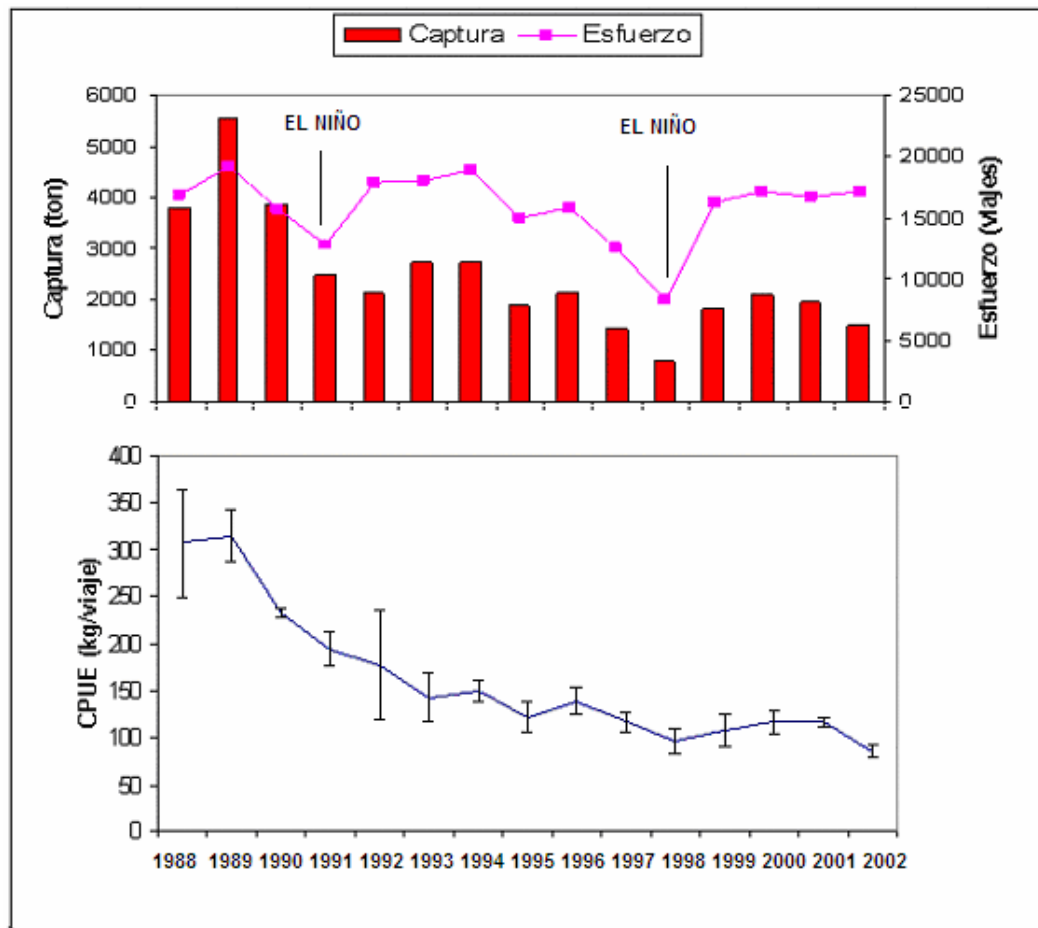


Figura 4.- Captura, esfuerzo y CPUE (? 95 % int. conf.) para el erizo rojo en toda su área de captura en Baja California.

Para la CPUE se observa una disminución drástica de 309 Kg. viaje⁻¹ en la temporada 1988-89 a 86.92 Kg. viaje⁻¹ en la temporada 2002-03 (Fig.4). La

disminución es continua, pero si se contara con una unidad de esfuerzo más fina, como serían las horas de buceo, seguramente se observarían mayores decrementos de la CPUE a través del tiempo.

Tendencias del Recurso (Modelo General Lineal)

Con base en los resultados del Modelo General Lineal (MGL), se graficó la tendencia del recurso a partir de la temporada 1988-89 (utilizada como referencia). Se observó un decremento paulatino conforme transcurren las temporadas, lo cual ejemplifica la disminución de la abundancia relativa del recurso (Fig. 5). El patrón observado es muy similar al correspondiente CPUE. Sin embargo, en el MGL se observa que la abundancia relativa es prácticamente constante entre 1991-95 y 1998-2000. Esto puede ser resultado de incorporar al modelo la variación de las cuatro zonas de captura.

El decremento en la abundancia relativa durante las 14 temporadas analizadas es notable. Para la temporada de pesca 2002, se estima una abundancia relativa de 0.31 tomando como base la abundancia relativa de la temporada 1988 (Fig. 5).

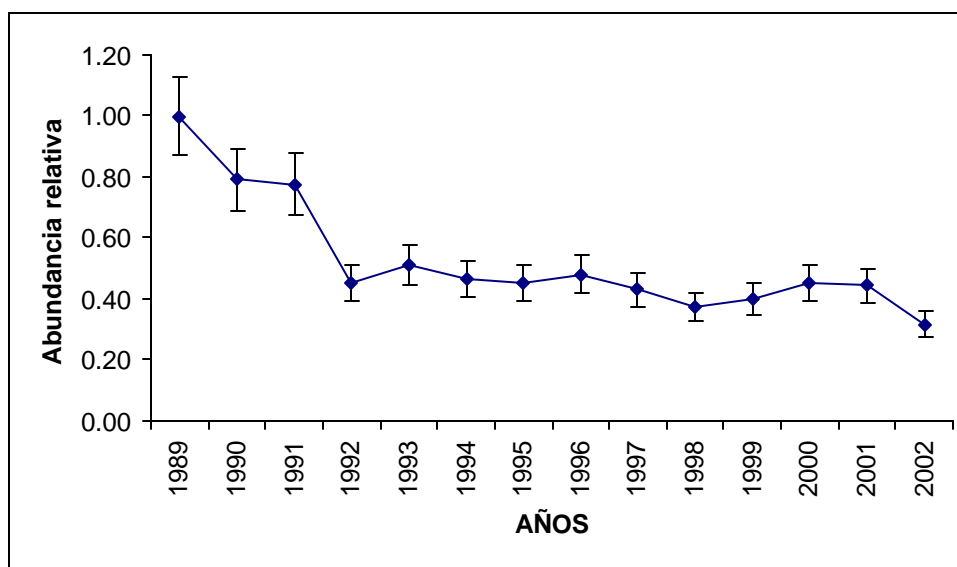


Figura 5.- Abundancia relativa estimada por un Modelo General Lineal de la CPUE (? 95 % int. conf) para el erizo rojo en Baja California.

III.2. CAPTURA, ESFUERZO Y CPUE POR ZONAS DE PESCA

Las zonas de pesca más importantes en relación a la captura y esfuerzo durante las temporadas 1988 a 2002 son la Zona II y IV, como se observa en la Tabla III.

Tabla III.- Captura y esfuerzo promedio en la pesca de erizo rojo por zona de pesca en Baja California. (? error estandar) Temporadas 1988 a 2002.

Zona	Captura Promedio (ton)	Esfuerzo promedio (viajes)
I	280 ? 49	2,013 ? 164
II	815 ? 76	6,084 ? 461
III	207 ? 139	1,399 ? 119
IV	1,159 ? 188	6,392 ? 499

Para la captura por unidad de esfuerzo promedio, no se encontraron diferencias significativa ($p = 0.40$) entre las cuatro zonas de pesca (Fig. 6).

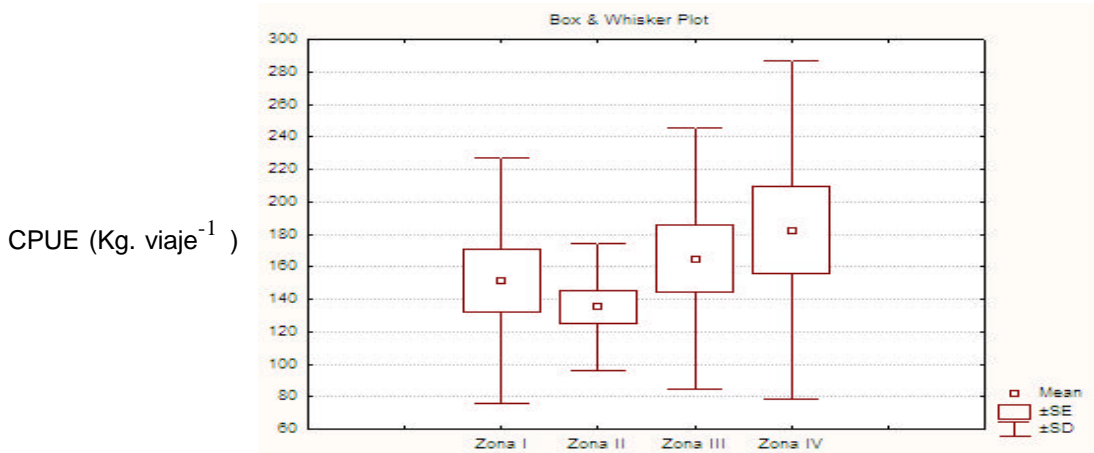


Figura 6.- La captura por unidad de esfuerzo promedio de erizo rojo por zona de pesca 1988-2003 (media, error est. y desv. est.)

La comparación de capturas y CPUE para cada zona de pesca se observan en la Figura 7. La captura ha disminuido en todas las zonas, pero la caída más drástica se observa en la zona IV (de un máximo de 2,696 t a 650 t en la última temporada). La zona que presenta menores fluctuaciones en la captura es la zona II. En cuanto a la CPUE, en todas las zonas se observa un decremento importante, principalmente en la zona IV (de 448 kg viaje⁻¹ para la temporada 1988-89 a 100 kg viaje⁻¹ para el 2002-03). Para la zona I la CPUE disminuyó de 306 kg viaje⁻¹ en 1988-89 a 72 kg viaje⁻¹ en 2002-03, para la zona II el decremento fue menor (214.05 kg viaje⁻¹ a 95.86 Kg. viaje⁻¹) y para la zona III fue de 371.79 kg viaje⁻¹ a 83.79 kg viaje⁻¹

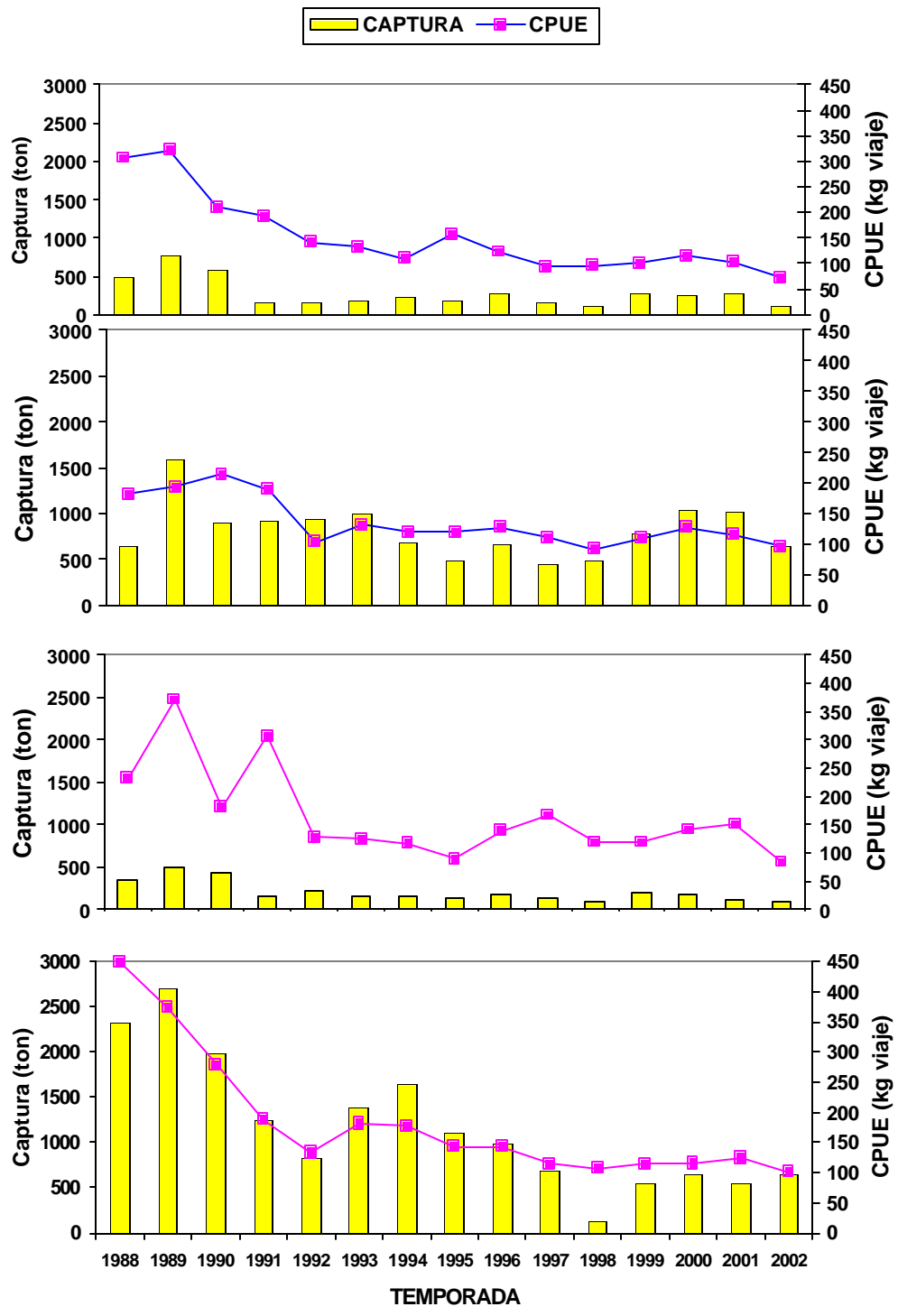


Figura 7.- Captura y captura por unidad de esfuerzo de erizo rojo por zona de pesca en Baja California de 1988 a 2002 Fuente: CRIP Ensenada.

El esfuerzo (viajes) por zona de pesca se observa en la Figura 8. Las zonas II y III presentan una disminución importante durante los eventos EL NIÑO (principalmente en 1991 y 1998). La mayor reducción la observamos en la zona IV para 1998.

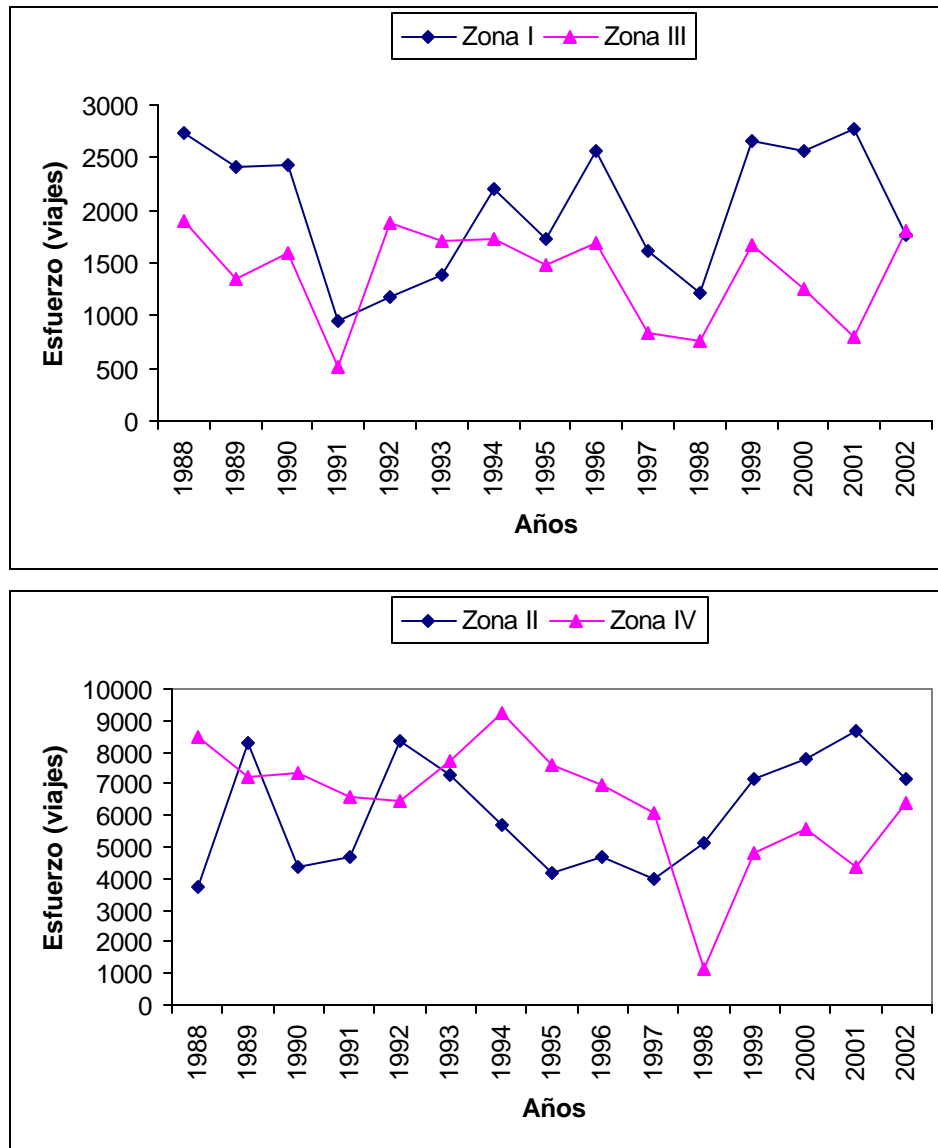


Figura 8.- Esfuerzo empleado en la pesquería de erizo rojo por zona para 1988 a 2002. Fuente: CRIP Ensenada

II.3. PRODUCCIÓN DE GÓNADA DE ERIZO ROJO.

En la bitácora de pesca se registra la producción de gónada de erizo por cada permisionario o concesionario. En la temporada 2002-03, se reportaron 170.26 ton de gónada para las cuatro zonas de captura, siendo las más importantes la zona II y IV (62.40 y 76.71 ton, respectivamente). En estas dos zonas las capturas de erizo rojo fueron similares (642 y 648 t), pero hubo un mejor rendimiento en la zona IV (Tabla IV).

Tabla IV.- Rendimiento, producción de gónada y clasificación por zona de pesca para la temporada 2002-03 de erizo rojo en B. C.
Fuente: CRIP Ensenada.

Zona Pesca	Rendimiento (%)	Gónada (ton)	Clasificación (%)		
			1ra	2da	3ra
I	12.86	16.32	72.79	26.79	0.42
II	9.11	62.40	76.28	23.13	0.59
III	11.99	14.83	85.69	13.89	0.42
IV	12.61	76.71	71.32	28.68	0

Del total de la producción de gónada de erizo para la temporada 2002-03, el 75.45% fue de primera calidad, 24.26 % fue de segunda y 0.29 % fue de tercera calidad. La calidad esta en realación principalmente al color; la primera de amarillo a naranja claro, la segunda de naranja oscuro y la tercera café claro. Estos

porcentajes fueron similares entre las zonas de pesca con excepción de la zona III donde la gónada de primera calidad presentó un porcentaje más alto (Tabla III).

La gónada de erizo es exportada al mercado Japonés vía Estados Unidos de América. El Departamento de Aduanas de EUA reportó que se importaron de julio a febrero (temporada de captura de erizo rojo) para las tres últimas temporadas la cantidad 221.57, 214.51 y 171.7 ton de gónada de erizo de México (Tabla V). En la Tabla IV se observa el valor de la exportación de gónada y el precio unitario ha fluctuado entre 25.37 y 21.72 dólares por kilo en las últimas tres temporadas.

Tabla V. Datos de la importación de gónada de erizo a Estados Unidos proveniente de México, para las temporadas 2000-01 a 2002-03
Fuente: Departamento de Aduanas EUA.

Temporada	2000-01	2001-02	2002-03
Gónada de erizo (ton)	221.57	214.51	171.75
Valor (dólares)	5,620,820	4,659,828	3,952,482
Precio unitario (dólares por Kg.)	25.37	21.72	23.01

El mercado japonés compró en 2002 un total de 11,926 ton de gónada de erizo con un valor de aproximadamente 60 millones de dólares (NMFS, 2003). Este producto fue exportado por varios países, principalmente por Chile, Estados Unidos de América, Canadá, Rusia, Corea y China. México sólo exportó 171 ton de gónada durante 2002, lo cual representa el 1.43 % de la importación total japonesa.

III.4 ESTRUCTURA DE TALLAS DE ERIZO ROJO EN LAS CAPTURAS

En los histogramas de frecuencias de tallas de erizo rojo muestreado en las plantas procesadoras, durante las últimas 15 temporadas de captura, se puede observar una disminución en la abundancia relativa de erizo rojo de tallas mayores a 110 mm (Fig. 9). Esta tendencia es particularmente evidente durante las últimas cuatro temporadas. Para la mayoría de las temporadas los intervalos de talla más representativos son de 70 a 90 mm.

Se observa frecuencias altas de tallas de erizo \geq 80 mm en las 15 temporadas de captura (Fig. 9). Las variaciones en el patrón de la estructura de tallas y porcentaje de erizos debajo de la talla mínima legal entre zonas fueron evaluadas para la temporada 2002-03. Las tallas más pequeñas de erizo rojo se encontraron en la zona IV, donde también se capturó el más alto porcentaje de organismos de talla sub-legal (26.77 % del total $n= 11,794$). En la zona I se observan erizo de mayores tallas, aunque el 14.35 % fueron de talla sub-legal (Fig. 10).

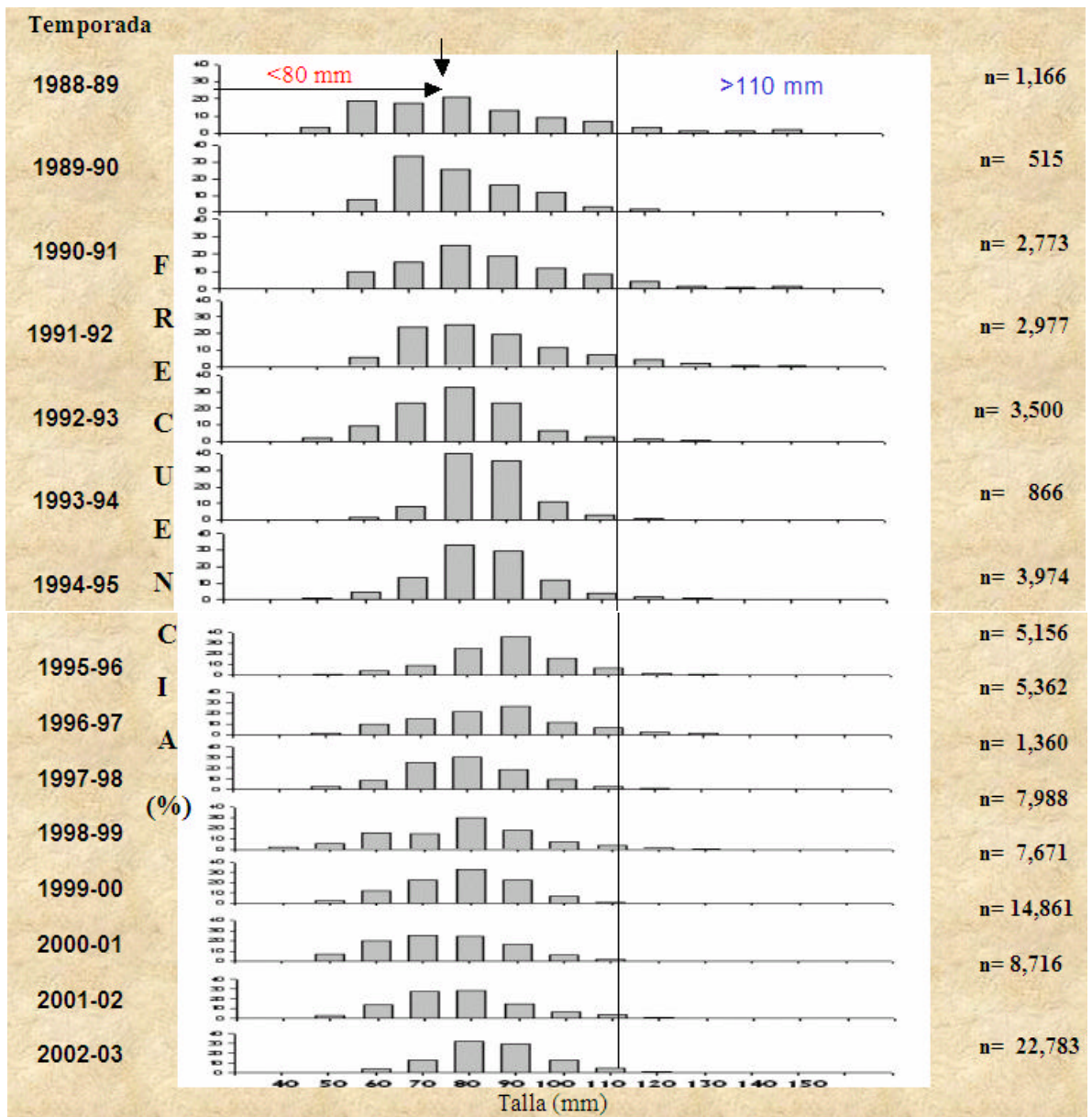


Figura 9.- Histogramas de frecuencia talla de erizo rojo en la captura comercial en Baja California de 1988 a 2003. Muestras realizadas por personal del CRIP Ensenada

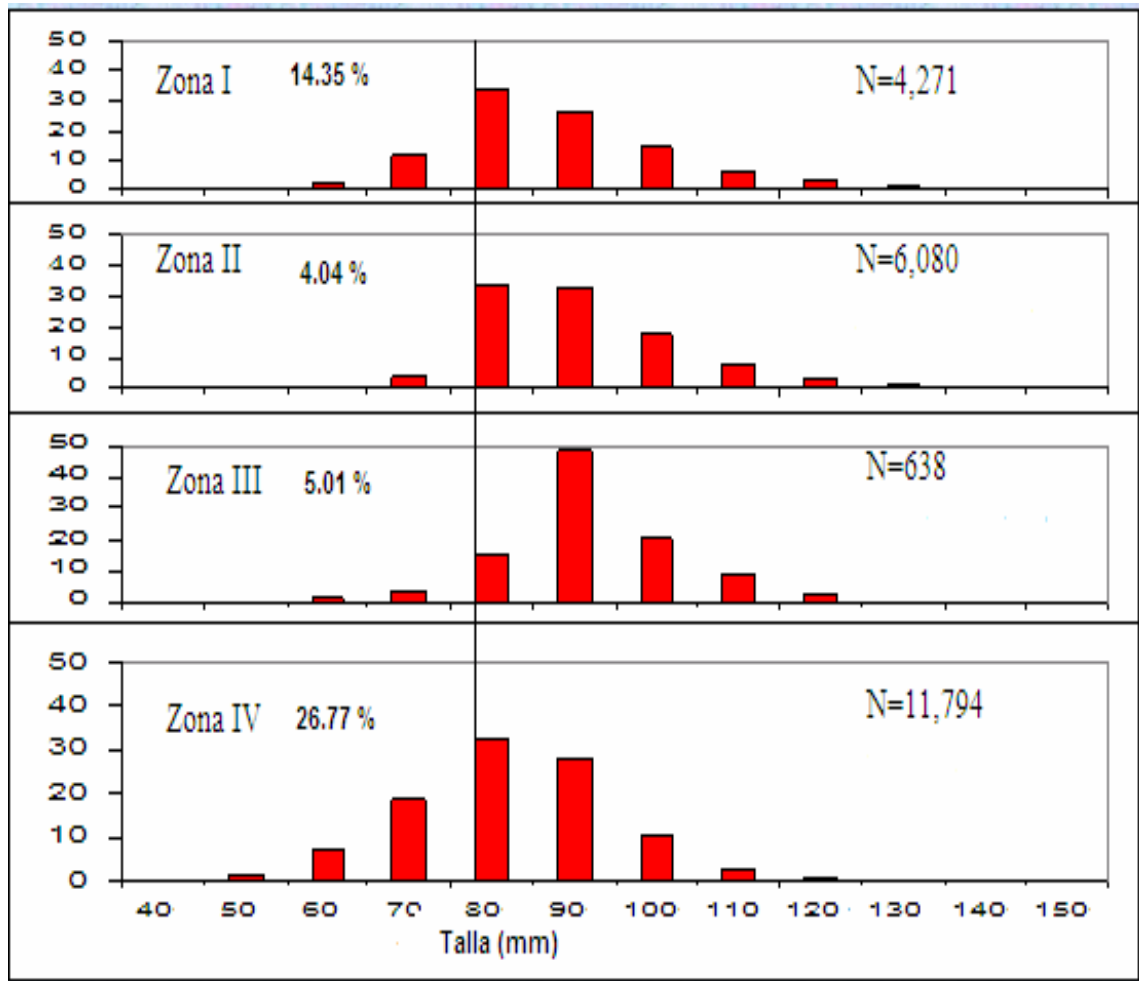


Figura 10.- Histograma de frecuencias de tallas del erizo rojo en la captura comercial por zona durante la temporada 02-03. (línea vertical indica talla mínima).

El porcentaje de organismos <80 mm (talla mínima de captura) ha fluctuado entre 12% y 51% del total (Fig. 11).

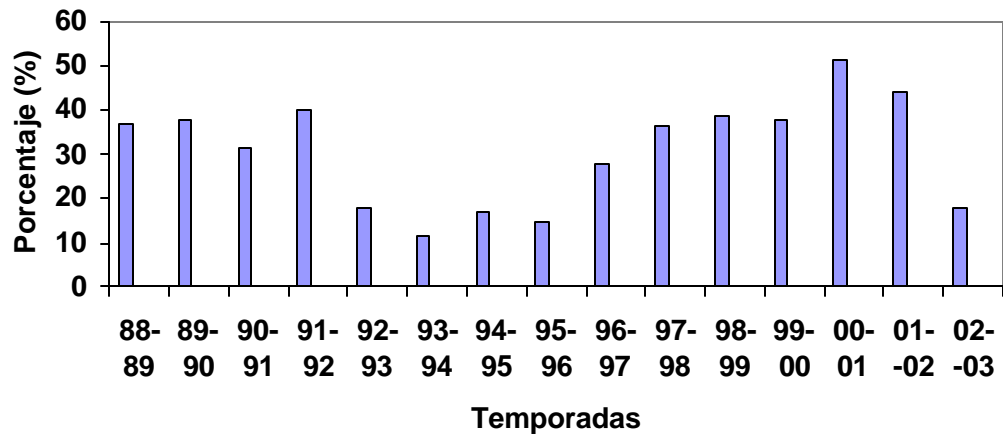


Figura 11.- Porcentaje de organismos <80 mm (talla mínima) para el erizo rojo, en la captura Comercial de Baja California. Muestreos realizados por personal del CRIP Ensenada.

III.5 TASAS DE MORTALIDAD POR PESCA

La tasa de mortalidad por pesca (F) de las últimas 9 temporadas varió de 0.43 en la temporada 1996-97 hasta 1.23 para la temporada de pesca 1999-00, reduciéndose considerablemente a 0.6 en la temporada 2002-03 (Tabla V). El porcentaje de reducción de organismos por año en función a la mortalidad por pesca estimada varió de 34.49% a 70.07%. Este último porcentaje es el más alto reportado para la pesquería de erizo en Baja California (Tabla VI).

Tabla VI. - Mortalidad por pesca, reducción de individuos y talla de reclutamiento a la pesquería de erizo rojo en Baja California.

Año	Mortalidad Pesca (F)	Reducción (%)	Talla de reclutamiento
1994	0.61	45.66	55.30
1995	0.57	43.44	53.78
1996	0.43	34.49	51.83
1997	0.79	54.46	56.49
1998	0.56	42.88	43.80
1999	1.23	70.07	47.40
2000	1.02	63.39	54.12
2001	0.74	52.28	48.40
2002	0.64	42.27	53.43

La talla de reclutamiento a la pesquería (FISAT II) para las temporadas de pesca 1994-95 hasta 2002-03 varió entre 42 a 59 mm de talla (Tabla V), lo cual representa tallas muy pequeñas en relación a la talla legal de 80 mm.

III.6. ANÁLISIS VIRTUAL DE POBLACIÓN

La distribución del número de organismos que sobrevivieron, la porción del número de individuos capturados y las tasas de mortalidad por pesca para cada

intervalo de talla se observan en la Figura 12. La mortalidad por pesca más alta fue para organismos de 90 a 100 mm de talla.

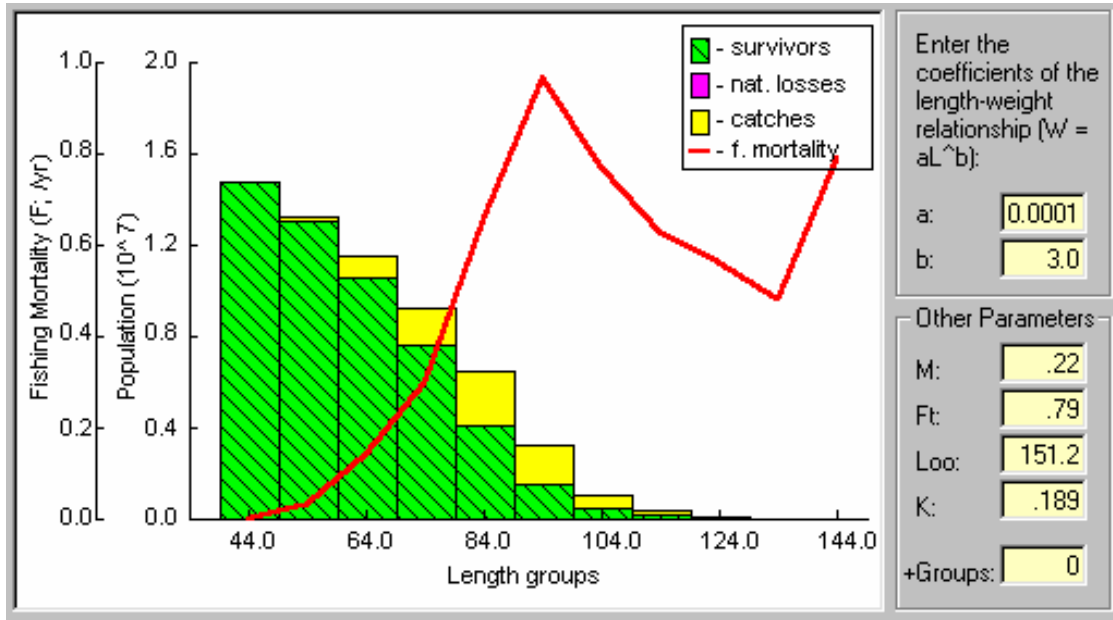


Figura 12.- Resultado del Análisis Virtual de Población de erizo rojo en función de los muestreos de captura comercial de la temporada 2002-03. Salida del Prog. FISAT II

El número de individuos y el estimado de biomasa para cada intervalo de talla se presentan en la Tabla VII y en la Figura 13. Los erizos de tallas de 80-89 mm son los que representan mayor biomasa por clase de talla con 1,294 ton. La biomasa total estimada fue de 5,773 ton. Dado que la mortalidad total anual ($1 - e^{-Z}$) para la temporada 2002-03 fue de 57.68 % ($Z = 0.86$), de la biomasa total restaría 2,443 ton después de la temporada de pesca.

Tabla VII.- Estimación de la biomasa total de erizo rojo en Baja California, datos de la temporada 2002-03

Tallas	Población (No org.)	Peso ind. (kg)	Biomasa (ton)
40-49	14,743,996	0.035	516
50-59	13,225,847	0.050	661
60-69	11,514,513	0.070	806.
70-79	9,231,142	0.120	1,108
80-89	6,467,962	0.200	1,294
90-99	3,239,449	0.250	809
100-109	1,078,754	0.350	378
110-119	352,836	0.400	141
120-129	104,902	0.450	47
130-139	22,518	0.500	11
140-149	2,440	0.550	1
Total	59,984,359		5,773

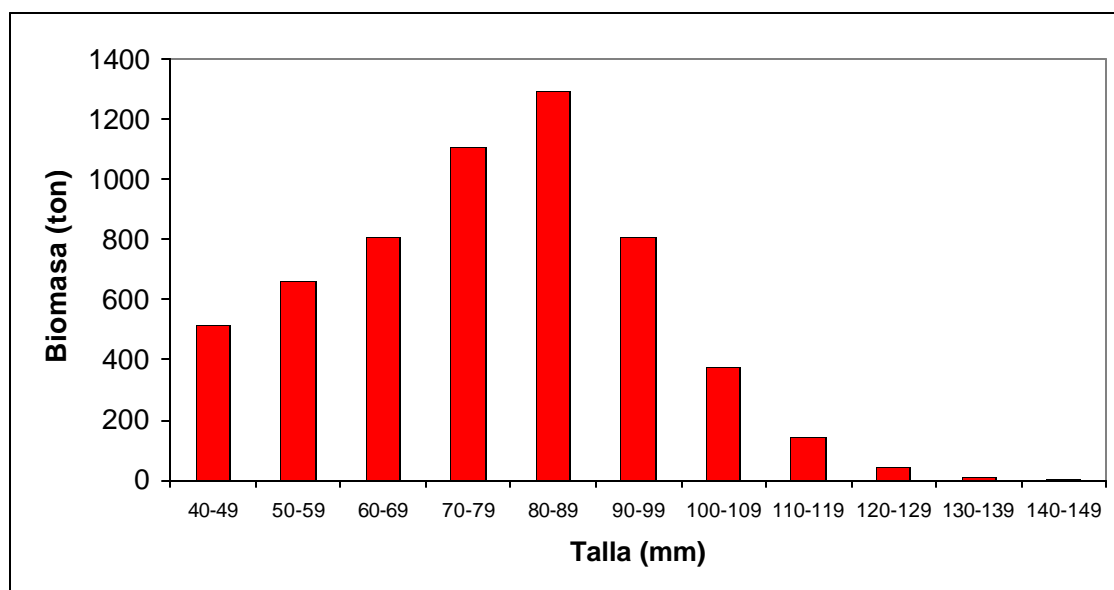


Figura 13.- Estimación de biomasa por intervalo de talla de erizo rojo por Medio de Análisis Virtual de Población utilizando los datos de captura comercial de la temporada 2002-03.

III.7. ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD POBLACIONAL DE ERIZO ROJO

La densidad promedio de organismos en las áreas estudiadas indicó diferencias significativas por zona de pesca ($p= 0.0001$). La mayor densidad se encontró en la zona IV ($5.90 \pm 0.56 \text{ m}^{-2}$; $n= 55$), seguida por la zona II ($4.57 \pm 0.46 \text{ m}^{-2}$; $n=59$). Las zonas de menor densidad fueron la zona I ($2.57 \pm 0.33 \text{ m}^{-2}$; $n= 22$) y la Zona III ($1.95 \pm 0.29 \text{ m}^{-2}$; $n= 20$).

La distribución de frecuencias de tallas en las cuatro zonas de pesca durante el 2002-03 fue similar. Las tallas de 60 a 89 mm fueron las más abundantes. Se observó una ausencia importante de tallas superiores a los 110 mm, debido probablemente a la captura comercial (Fig. 14).

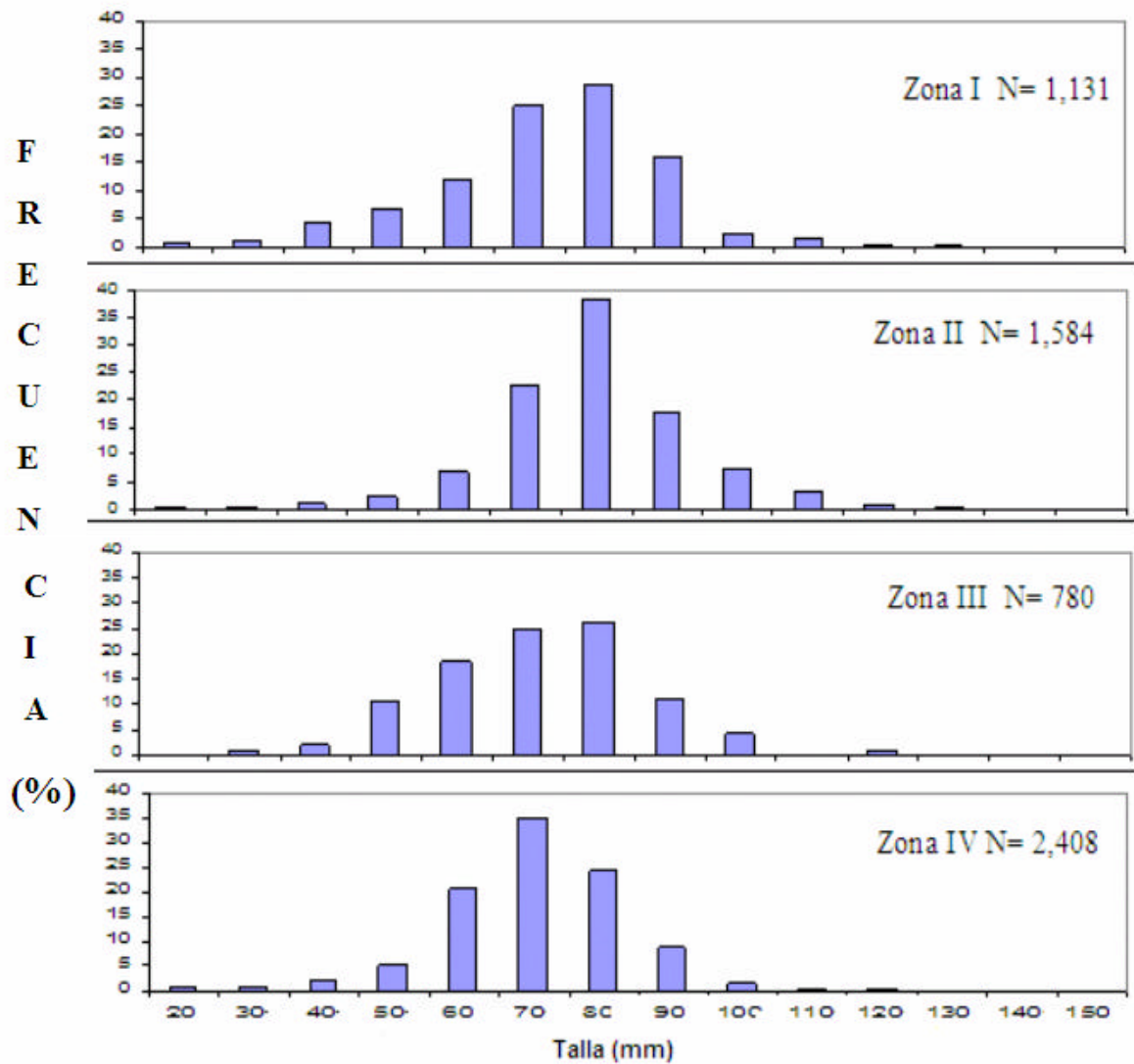


Figura 14.- Distribución de frecuencia de erizo rojo para cada zona de pesca. Muestreos de campo efectuados durante junio a octubre de 2003

La relación entre la talla y el peso total de erizo rojo muestreados en campo de junio a octubre de 2003 se observa en la Figura 15. Los datos se ajustaron a un modelo de regresión no lineal el cual explicó, casi el 85 % de la variación. Los puntos extremos pueden ser debidos principalmente a errores de muestreo y/o a erizos rotos que pierden agua.

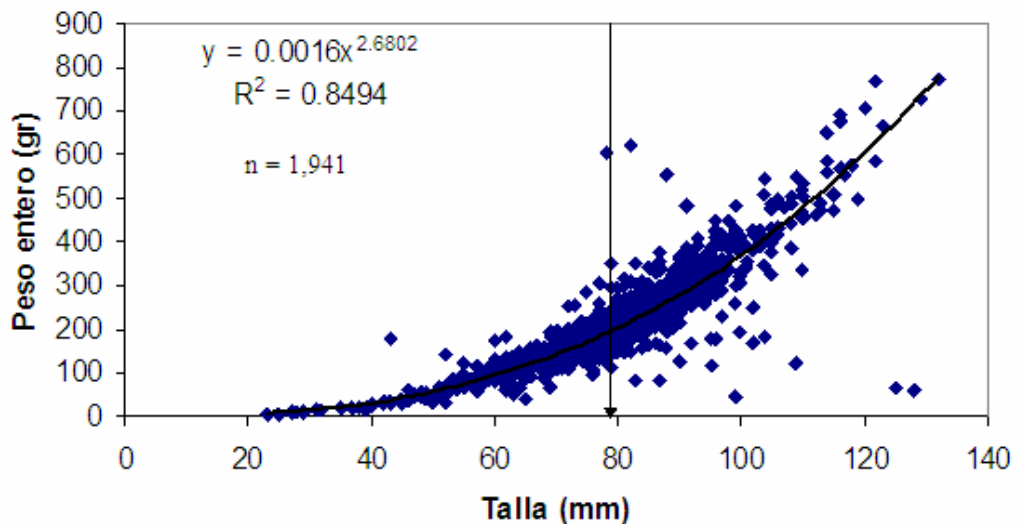
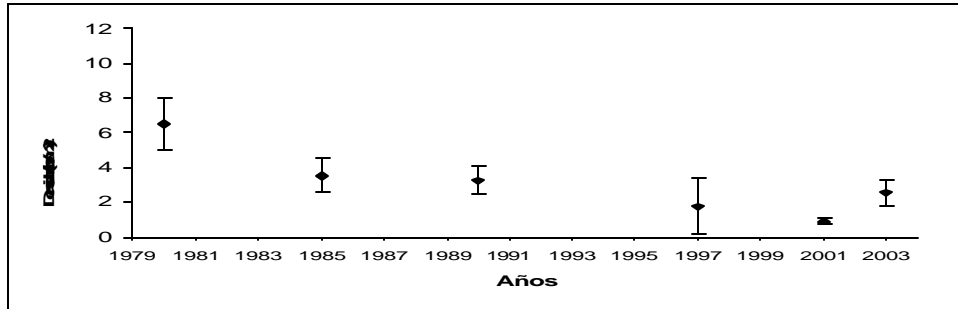


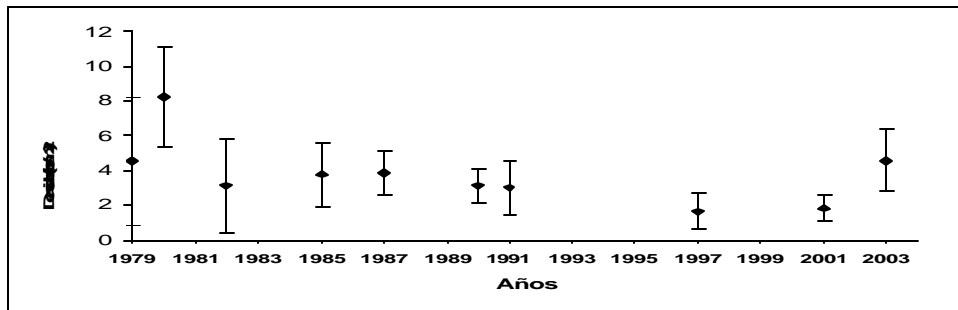
Figura 15.- Relación entre la talla y peso total de erizo rojo. Muestreos de campo realizados de junio a octubre de 2003. (n=1,941)

La variación en la densidad de erizo rojo por zona de pesca desde 1979 a 2003 en distintas campañas de muestreo efectuadas por personal del CRIP Ensenada se observan en la Figura 16. Para la Zona I, se observa una disminución de la densidad (de 6.55 erizos m^2 a 2.57 erizos m^2 en 1980 y 2003, respectivamente).

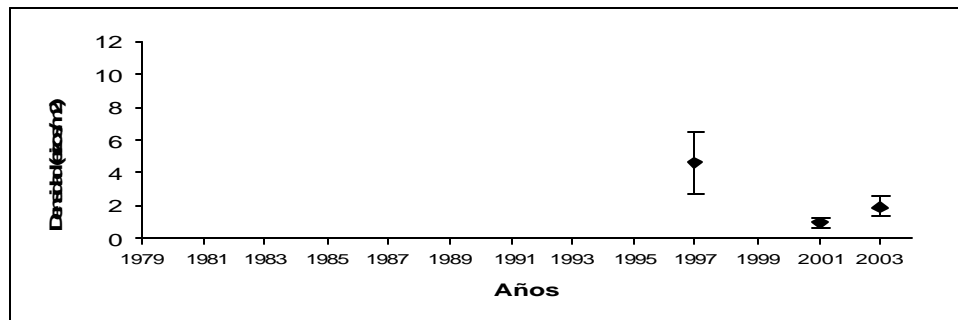
Zona I n = 22



Zona II n = 59



Zona III n = 20



Zona IV n = 55

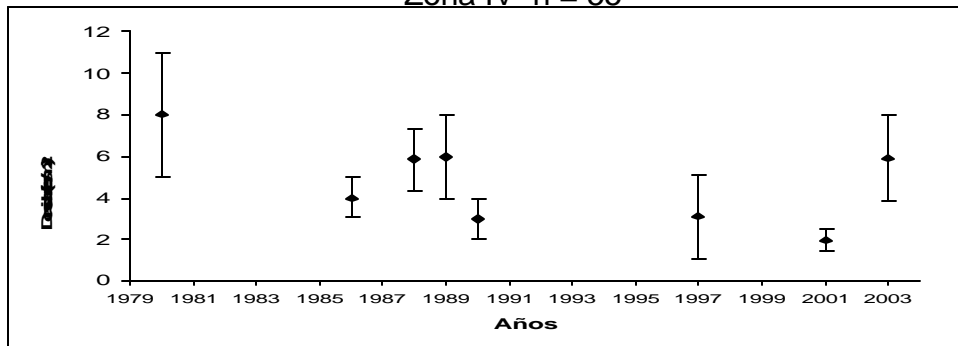


Figura 16.- Densidad de erizo rojo m⁻² (? desv. est.) por zona de pesca en distintas campañas de muestreo. CRIP Ensenada.

Para la Zona II, también se observa una disminución en la densidad, aunque en el 2003 presentó un repunte importante del 50% con respecto a la densidad encontrada en 1980. La Zona III, presenta pocas estimaciones de densidad, aunque en años recientes las densidades son menores a las estimadas en 1997. Para la Zona IV, se presentan fluctuaciones de la densidad estimada. Sin embargo, se observa una densidad alta para 2003 similar a la encontrada en 1988 y 1989 (Fig. 16).

IV DISCUSIÓN.

VARIACIONES ANUALES EN LA CAPTURA, ESFUERZO Y CPUE DE ERIZO ROJO EN BAJA CALIFORNIA.

La serie histórica de captura de erizo rojo en Baja California presenta su punto máximo en 1986 con 8,500 ton de peso entero. Esta captura record fue conseguida luego de que las embarcaciones autorizadas se triplicó de 75 a 220 en 1985 (Fig. 1). Esto aumentó notablemente la presión de pesca sobre el recurso, ya que el número de embarcaciones más alto registrado de 320 ocurrió en 1988. Más recientemente el número de embarcaciones ha fluctuado entre 260 y 290.

La variabilidad en la captura de erizo es el resultado de varios factores, incluyendo la disponibilidad del recurso, el estado nutricional del organismo (el buzo selecciona el erizo a coleccionar *in situ*), el esfuerzo aplicado y el precio de la gónada en el mercado internacional (Kalvass y Hendrix, 1997). Adicionalmente la captura disminuye cuando se presentan disturbios ambientales como El Niño, el cual provoca menor disponibilidad de *Macrocystis pyrifera*, y una reducción en la tasa de asimilación de alimento por parte de los erizos (Tegner y Dayton, 1991). Otro efecto de El Niño es un bajo nivel de reclutamiento a la población de erizo rojo, posiblemente como consecuencia de la disminución del fitoplancton, el cual es necesario para la alimentación de las larvas (Tegner y Dayton, 1991).

En la pesquería de erizo rojo en Baja California, las capturas registran una reducción importante durante los años El Niño (1991 y más evidente en 1998) (Fig. 5). Los pescadores mencionan que se observa un bajo rendimiento gonadal y una disminución del esfuerzo en esos años.

A partir de la entrada en vigor de la bitácora de captura en 1988, fue posible estimar el esfuerzo en término del número de viajes y contar con una mejor estimación de la CPUE (Palleiro-Nayar *et al.*, 1989). El esfuerzo promedio entre las temporadas 1988-89 a 2002-03 fue de 15,876 (± 2,835) viajes de pesca por temporada. Al disminuir paulatinamente la captura (Fig. 4) la CPUE también disminuyó notablemente: de 309.24 Kg. viaje⁻¹ a 86.92 Kg. viaje⁻¹ en la temporadas 1988-89 y 2002-03, respectivamente.

La CPUE para todas las zonas de pesca de erizo en Baja California, presentó una disminución importante a partir de la temporada 1988-89, el cual deriva de un esfuerzo más o menos continuo y una reducción en las capturas. Las zonas I y III son las que presentan una menor captura y un esfuerzo máximo de 3,000 y 2,000 viajes por temporada, respectivamente. Sin embargo, la presión de pesca es alta para las cuatro zonas.

El esfuerzo pesquero ejercido en las Zonas II y IV ha sido alto (4,000 a 8,000 viajes por temporada) particularmente en comparación a al esfuerzo

ejercido en las zonas I y III (Fig. 9). Sin embargo, existe una diferencia notable entre la CPUE en la zona II y IV, ya que la CPUE demuestra menores fluctuaciones en la zona II (225 a 100 kg viaje⁻¹) y un decremento notable de 448 kg viaje⁻¹ a 100 kg viaje⁻¹ en la zona IV (Fig. 7).

Se ha documentado que la presión de pesca sobre muchas especies de invertebrados marinos ha disminuido drásticamente sus poblaciones (Jackson *et al.*, 2001). Por ejemplo, la pesquería de erizo rojo en California, EUA, exhibió un patrón similar al de Baja California, la captura máxima fue en 1988 con 23,981 ton la cual disminuyó a 5,880 ton de peso entero en el año 2001 (Rogers-Bennett, 2002). En 1988 establecieron un programa de restricción del esfuerzo, logrando disminuir de 938 buzos en 1988 a 361 buzos para el 2001 (Rogers-Bennett, 2002; Sweetnam, 2003). Sin embargo esta medida no ha resultado adecuada para estabilizar la captura y la recuperación de las poblaciones naturales de esta especie (Kalvass y Hendrix, 1997; Rogers-Bennet *et al.*, 2003). En Baja California la reducción del esfuerzo en cuanto al número de buzos ha sido de 320 en 1988 a 260 en 2003 representando una reducción del 18.75 %.

TENDENCIA DEL RECURSO CON EL MODELO GENERAL LINEAL.

Tradicionalmente la CPUE se ha usado como un índice de la abundancia relativa del recurso (Hilborn y Walters, 1992; Shelton *et al.*, 2001). Sin embargo, Hilborn y Prince (1996) mencionan que se debe ser cauteloso al usar la CPUE como índice de abundancia relativa para especies de invertebrados, ya que frecuentemente la CPUE se mantiene constante cuando en la realidad la abundancia del recurso disminuye. Ellos explican que esto es consecuencia del utilizar una unidad de esfuerzo no adecuada, como por ejemplo el uso de embarcación como unidad de esfuerzo.

Para el caso específico de la pesquería de erizo rojo es posible observar variaciones de la CPUE entre temporadas. Partiendo del hecho de que la estrategia de los buzos durante la colecta de los erizos es buscar lugares con buen alimento disponible para los erizos, para que estos presenten un adecuado rendimiento gonadal, considero que sí es posible utilizar como un indicador de la abundancia relativa del recurso la CPUE (kg por viaje) en base a las características requeridas de gónada en la pesquería y a los bancos de erizo dentro de las áreas de pesca autorizadas en sus permisos o concesiones (la abundancia relativa se refiere a organismos que satisfagan los requerimientos del mercado). Seguramente si se contara con las horas de buceo (búsqueda y extracción) sería más notorio las variaciones en la CPUE.

El Modelo General Lineal (MGL) es muy usado en análisis pesqueros para evaluar la variabilidad que aporta la flota pesquera al poder de pesca y las diferencias entre zonas de pesca en la CPUE y poder estimar la abundancia relativa del recurso utilizando las capturas por unidad de esfuerzo (Hilborn y Walters, 1992). En este estudio, el MGL mostró que en la última temporada analizada la abundancia relativa fue del 31.69 % de la abundancia de referencia de la temporada 1988-89 (Fig. 6). Esto nos indica una disminución en la disponibilidad del recurso del 68.31%. La abundancia relativa presentó reducciones drásticas y aunque en algunos periodos se mantuvo casi constante (1991 a 1995; Fig. 6). Esto pudiera ser atribuido a que la abundancia relativa no varío ó posiblemente a que no se cuenta con una unidad de esfuerzo más fina como puede ser las horas de buceo, en las que se registre el tiempo de búsqueda y la extracción del recurso, sin embargo es muy notable la reducción de la abundancia relativa al inicio y final del periodo analizado.

La tendencia a la disminución de abundancia también se observó en la CPUE por temporada, con una reducción drástica de 309.24 kg viaje⁻¹ a 86.92 kg viaje⁻¹, lo cual corresponde a una disminución del 71.89 %. Una situación semejante se ha reportado para la población de erizo en California, la cual está sujeta a una presión alta de pesca. La CPUE ha presentando un decremento importante de 900 kg día⁻¹ en 1988 a 450 kg día⁻¹ en 1999 (Rogers-Bennett 2001).

El mayor aporte a la disminución de la abundancia relativa, incorporada en el MGL proviene de la zona IV, ya que la reducción en la CPUE es la más grande de las cuatro zonas (de 448 kg viaje⁻¹ a 100 kg viaje⁻¹ con una reducción del 77.67%). Esta zona es la que tiene la mayor presión de pesca de toda el área de captura de erizo en Baja California.

PRODUCCION DE GÓNADA DE ERIZO

La zona IV reportó la mayor producción de gónada de erizo para la temporada 2002-03 con 76.71 ton (45 % del total). La captura de las zonas II y IV fueron muy similares (642 y 648 ton respectivamente) pero el rendimiento fue mejor para la zona IV (12.61%) en comparación de la zona II (9.11%). Esta diferencia pudiera ser atribuida a la mejor disponibilidad de alimento en la zona IV. Los mantos de *Macrocystis pyrifera* de la zona IV específicamente la Bahía El Rosario se encuentran en un área de surgencias muy importante (Bakum, 1996) y no son cosechados por el barco sargacero ya que estos se encuentran a 20 horas de navegación de la ciudad de Ensenada.

Los datos de exportación de gónada de erizo Mexicano a E.U.A. no concuerdan con la producción reportada por los pescadores. En la temporada 2002-03, la producción de gónada de erizo rojo reportada fue de 170.26 ton y de erizo morado fue de 40 ton en total 210.26 ton de gónada (datos de la bitácora de pesca). En el mismo periodo, se exportaron 171.75 ton. Esto implica

que hay una diferencia de 38.51 ton entre lo que se produjo y se exportó. Ya que no existe mercado local para la gónada de erizo y toda la producción se exporta, es posible que pudiera haberse sub-facturado al cruzar la aduana de E.U.A.

Los comercializadores de gónada de erizo en Ensenada principalmente manejan un tipo de presentación denominada hakata de 50 a 70 gr (caja de madera curada de 16 x 6 cm). Esta presentación propicia que los pescadores extraigan erizos pequeños (debajo de la talla legal), ya que estos tienen gónadas adecuadas para la presentación en hakata. Se debería trabajar otras presentaciones como en California (charora de plástico 150 a 300 gr) en las cuales se empacan gónadas de erizos de talla legal en adelante.

FRECUENCIAS DE TALLAS Y MORTALIDAD POR PESCA

Una de las medidas reglamentarias más importantes en la pesquería de erizo rojo en Baja California es la talla mínima de captura. Sin embargo, muestreos de erizo rojo en las plantas procesadoras indican que los pescadores no respetan esta disposición. Durante 1988 a 2002 el porcentaje de erizos capturados de talla sublegal ha representado del 17 % al 51 % del total. Esto afecta la capacidad de recuperación de la población, ya que se están capturando organismos menores de 60 mm que aún no han alcanzado su talla de primera madurez (Palleiro-Nayar *et al.*, 1996).

La baja abundancia de erizos mayores a los 110 mm en las capturas comerciales y en los muestreos de campo (entre el 4 al 8 %), tiene una gran relevancia en la reducción en el potencial reproductivo de la población, ya que estos organismos de mayor tamaño son más fecundos (Tegner y Levin, 1983; Kalvass y Hendrix, 1997).

En los muestreos de campo de todas las zonas de pesca se observa una distribución unimodal de erizos en sus histogramas de tallas, donde los individuos de 60 a 80 mm son los más abundantes ya que representan del 25% al 55% del total. Esto difiere con las distribuciones bimodales encontradas en varios sitios en California, donde existen porcentajes altos de erizo juvenil y adultos mayores (Bostford *et al.*, 1994; Morgan *et al.*, 2000). El patrón de distribución de tallas observado en Baja California pudiera deberse a la baja abundancia de erizos adultos por la extracción comercial. La baja abundancia de erizos mayores puede causar que disminuya la protección que estos proveen a los juveniles menores de 30 mm (bajo el dosel de las espinas de los organismos adultos) (Tegner y Dayton, 1977). Si no tienen protección los juveniles son fácilmente depredados por peces, cangrejos y langostas (Tegner y Dayton, 1981; Cowen, 1983), lo cual incrementa los procesos de depensación o efecto Allee (Quinn *et al.*, 1993).

Las estimaciones de mortalidad por pesca sirven como puntos de referencia útiles para el manejo de una pesquería (Candy y Mahon, 1995). Lelevier y Palleiro, 1987 realizaron la primera estimación de la mortalidad por pesca de erizo rojo en Baja California utilizando los muestreos de capturas comerciales de erizo rojo efectuados en 1984 (primer año que se recibió el erizo entero en las plantas de procesamiento). Encontraron una tasa de mortalidad $F = 0.45$ y una talla de reclutamiento a la pesquería de 75 mm. Las estimaciones de la tasa de mortalidad por pesca realizadas para las temporadas 1994-95 a 2002-03 son muy variables, pero superiores a la calculadas en 1984. La tasa promedio de mortalidad por pesca durante las nueve temporadas fue de $F = 0.73$ año⁻¹ con un mínimo de $F = 0.45$ y máximo de $F = 1.23$ año⁻¹. Estas fluctuaciones pueden estar influenciadas por varios factores: esfuerzo, CPUE, el número de organismos muestreados en la captura comercial, la época de la temporada de pesca y a los porcentajes de organismos de las frecuencias de talla. Pero podría considerarse como un punto de referencia que la mortalidad por pesca este dentro del intervalo de $F = 0.43$ a $F = 0.73$ año⁻¹, la cual representa una disminución del 34.49 % y 51.18 % respectivamente de los organismos de un año a otro. Este punto puede ser controversial pero lo importante seria revisar la mortalidad de pesca por zona durante el transcurso de la temporada y poder instrumentar medidas precautorias en tiempo y forma (reducción de áreas de operación, cierres parciales y totales de zonas de pesca, etc)

Es muy notoria la reducción de la talla de reclutamiento a la pesquería estimada en este estudio de 50 mm en comparación a la reportada por Lelevier y Palleiro, 1987, la cual fue de 75 mm de talla. Esto indica un incremento drástico en la presión de pesca ejercida sobre los organismos juveniles. Esta situación reduce la capacidad de recuperación de la población de erizo rojo, al capturar organismos antes de alcanzar su talla de primera madurez. Por lo tanto se requiere un mayor trabajo de consientización para los pescadores para evitar que capturaren organismos debajo de la talla mínima de captura, así como una mayor vigilancia por parte de los inspectores pesqueros en las plantas de procesamiento de gónada de erizo.

ANÁLISIS VIRTUAL DE POBLACIÓN.

El análisis virtual de la población (AVP) estima la estructura de tallas de una población necesaria para soportar un nivel de captura según supuestos establecidos en el modelo (muestreo representativo de la captura, mortalidad natural de la región y mortalidad por pesca estimada de los propios datos de muestreo). Un aspecto muy importante es que la estimación de biomasa es independiente a los datos de captura y esfuerzo y sirve para comparar las estimaciones de biomasa por otros métodos (rendimiento máximo sostenible y evaluaciones *en situ*).

Un parámetro muy importante para la aplicación de los modelos de AVP utilizando tallas es la constante de crecimiento K . En este trabajo, se utilizó una $K = 0.189$ estimada por Palleiro Nayar, 1982 y reportada también por Farias Sánchez (1980) para erizos rojos en Baja California. Ebert *et al.*, 1999, estimó para una población de erizo rojo de San Diego, California $K= 0.21$. Con el fin de evaluar la sensibilidad del modelo al valor de K apliqué los dos valores de K (0.189 y 0.21) en el AVP. La diferencia en la biomasa total estimada fue menos del 5%. Por lo cual se utilizó el valor de $K= 0.189$ reportado para la población de erizo en Baja California (Palleiro-Nayar, 1982) para el AVP de este trabajo.

El AVP proporciona una estimación de biomasa total anterior a la fecha de captura. Al sumar todos los intervalos de talla (Tabla VI), se estima que la biomasa total fue de 5,773 ton de peso entero. El aporte más importante a la biomasa total fue de organismos de 70 a 89 mm (41.15 % de la biomasa total). Dada su talla y tasa de crecimiento, es posible que este grupo de organismos provean la mayor parte de la captura para la siguiente temporada.

Por las características del método AVP (mortalidad natural fija de entrada) es probable que se sobreestime la biomasa encontrada en los grupos de individuos más pequeños, ya que se utiliza una tasa de mortalidad natural igual para todos los individuos. Sabemos que los organismos recién reclutados a la población (1 a 10 mm de talla) presentan una alta tasa de mortalidad natural (Kalvass y Hendrix, 1997), la cual varía en función de la oportunidad de

protegerse de sus depredadores, lo cual a su vez depende del tipo de sustrato, densidad de los erizos adultos y la densidad de depredadores (Tegner y Dayton, 1977).

Para 1996, el Instituto Nacional de la Pesca estimó una biomasa de 6,200 ton de peso entero de erizo rojo en Baja California, por el método de máximo rendimiento sostenible (INP-SEMARNAP 1998). La diferencia entre la estimación para 1996 y la efectuada por medio del AVP en este trabajo es de 427 ton, lo cual puede ser considerada pequeña, particularmente si se toma en cuenta que han transcurrido 7 años de capturas (de 1997 a 2003). Sin embargo, para hacer comparaciones entre métodos de evaluación de biomasa se requiere que las estimaciones fueran del mismo periodo para evaluar la incertidumbre y lo robusto de cada método.

DENSIDAD DE POBLACIÓN

Las densidades promedio encontradas en las cuatro zonas de pesca en Baja California fueron de 1.95 a 5.9 erizos m^{-2} . Estas densidades son consideradas altas según lo reportado por Levitan *et al.*, 1992 y Kalvass y Hendrix, 1997 en poblaciones de erizo rojo en California.

La estimación de la densidad de una población es útil como índice de la probabilidad del éxito en la fertilización, ya que los erizos requieren encontrarse a menos de un metro de distancia para asegurar la fertilización de sus gametos (Levitan *et al.*, 1992).

Las diferencias significativas entre las densidades estimadas en las zonas I y III en comparación con las zonas II y IV, podrían deberse a la variabilidad en el reclutamiento del erizo rojo. Las zonas de mayor densidad (zonas II y IV) están sujetas a una alta presión de pesca, lo cual tiene que estar compensado por altos niveles de reclutamiento, para mantener las densidades altas. Esto concuerda con lo reportado por Salgado-Rogel *et al.*, 2003 en la estimación realizada en la temporada 2001-02, en donde se determinó el índice de reclutamiento de Morgan (Morgan *et al.*, 2000), el cual utiliza la proporción de juveniles y adultos. Para las cuatro zonas de pesca, el índice de Morgan fue más alto para las Zonas II y IV. Esto supone que las zonas II y IV presentan un mayor reclutamiento que las zonas I y III. Al igual que este trabajo, Salgado-Rogel *et al.*, 2003 encontraron que las zonas II y IV presentaron las mayores densidades de las cuatro zonas.

Los registros de densidad de erizo rojo a través del tiempo muestran una tendencia a negativa. Las densidades de erizo rojo registradas durante los ochentas fueron muy superiores a las densidades registradas en los últimos años. Se ha reportado reducciones similares para las poblaciones de erizo rojo

en British Columbia, Washington, Oregon y California de 6 a 4 erizos m² a 2 a 1 erizos m² (Kalvas y Hendrix., 1997; Andrew, *et. al.*, 2002).

Las estimaciones de densidad son puntuales y varían dependiendo de la escala espacio-temporal en que se evalúe, por lo que la densidad estimada puede estar influenciada por factores como la época de veda, si se realizan los censos al inicio o final de temporada, el reclutamiento o la mortalidad (Montaño, 2001). Un aspecto importante que también se tiene que tomar en cuenta es que las estimaciones de densidad de erizo rojo tradicionalmente se hacen hasta la profundidad de buceo comercial (25 a 30 m). No se ha evaluado la densidad de la población a mayores profundidades en Baja California. Por comunicación personal con pescadores, mencionan que al final de la temporada en algunos sitios no quedan organismos de talla comercial. Al regresar al mismo lugar después de la veda de cuatro meses, los pescadores encuentran organismos de talla comercial. Esto podría ser resultado de la migración de erizo de áreas profundas a áreas someras, principalmente como resultado de por la búsqueda de alimento. Dado que el crecimiento del erizo es lento de 5 a 10 mm por año (Ebert *et al.*, 1999), por lo que se puede descartar que se deba a crecimiento de los organismos juveniles.

La reducción en la densidad por la pesca se documentó en un trabajo de Carter y VanBlaricom (2002), quienes encontraron diferencias significativas entre sitios con y sin extracción experimental de erizo rojo, así como diferencias

en las distribuciones de talla y el reclutamiento, recomendando que para el estado de Washington, la rotación de bancos, ya que es notable el decremento en las capturas por la alta presión de pesca ejercida. En otro estudio Kalvas y Hendrix, 1997, reportaron que las densidades encontradas en 20 sitios de captura de erizo rojo en el Norte de California fueron de 0.7 erizos m^{-2} y que solo 5 de los 20 sitios excedían densidad de 1 erizos m^{-2} . En comparación, en las áreas de reserva donde no se permite la captura, se encontraron densidades de 4 a 8 erizos m^{-2} . Esto sugiere que las áreas de reserva pueden ser un instrumento muy útil para conservar las poblaciones de erizo en Baja California y se debería considerar su aplicación, seleccionado muy cuidadosamente los mejores sitios.

En términos generales, la presión de pesca intensa permanece como la principal causa de que muchas pesquerías de erizo en el mundo se hayan vuelto improductivas y que los beneficios económicos derivados de la extracción de estos recursos haya disminuido. Sin embargo, la pesca usualmente no es la única causa, ya que las relaciones interespecíficas en una comunidad y las fluctuaciones del tamaño poblacional derivadas de variabilidad ambiental afectan la disponibilidad de los recursos pesqueros (Andrew *et al.*, 2002).

No es conveniente generalizar en los esquemas de regulación de una pesquería, es más adecuado, instrumentar medidas precautorias por zona de pesca, como podría ser el caso específico de la pesquería de erizo rojo en Baja

California, ya que cada zona tiene su dinámica muy particular de aspectos oceanográficos, biológicos y pesqueros, sin embargo para llegar a esto, se requiere contar con estudios multidiciplinarios para establecer el estado de cada stoks y lo más importante seria establecer esquemas de manejo por comunidad (algas, erizos, caracoles, langosta, abulón, pepino de mar y peces) para poder conservar adecuadamente la diversidad y productividad de los recursos pesqueros y especies de importancia ecologica relevante como las macroalgas.

V. CONCLUSIONES

1.- Se observó una reducción notable en las capturas de erizo rojo en Baja California, para las cuatro zonas de pesca. El esfuerzo empleado en la pesquería se ha mantenido alto y por consiguiente ha habido una disminución drástica de la CPUE en todas las zonas de pesca. La zona IV exhibe la de mayor presión de pesca, con la mayor reducción en la captura y CPUE.

2.- La abundancia del recurso estimada por medio de un MGL de la CPUE para toda el área de extracción fue del 31.69% relativo a la temporada 1988-89.

3.- Los histogramas de tallas de erizo rojo de las capturas comerciales y los muestreos de campo muestran los organismos mayores a 110 mm son poco abundantes. Esto afecta la tasa de reproducción e incrementa la mortalidad de erizos juveniles que se esconden bajo las espinas de los organismos de mayor tamaño.

4.- Se observó un alto porcentaje de organismos de tallas sublegales (<80 mm) en los muestreos de las capturas comerciales de erizo rojo. Esto podría afectar negativamente la capacidad de regeneración de los stocks, ya que se están capturando organismo que no han alcanzado a su talla de primera madurez.

5.- Han habido altas tasas de mortalidad por pesca en las últimas temporadas de captura ($F= 0.43$ a $F= 0.73 \text{ año}^{-1}$) en comparación a las reportadas para 1984.

6.- La talla de reclutamiento a la pesquería estimada para las temporadas más recientes fue de < 50 mm. En comparación de la talla de reclutamiento a la pesquería fue de 75 mm en 1984 (Lelevier y Palleiro, 1987). Esto implica un impacto mayor en el recurso, limitando la capacidad reproductiva de la población de erizo en Baja California.

7.- La densidad de organismos por zona de pesca fueron menores a las estimadas en 1980.

Con base en la información obtenida en este estudio los puntos de referencia objetivo recomendados para el manejo de los stocks pesqueros de erizo rojo en Baja California, son los siguientes:

- a) tasa de mortalidad por pesca entre $F= 0.43$ a $F= 0.73 \text{ año}^{-1}$
- b) 5 % máximo de tallas sublegales.
- c) densidades mínimas de 2 erizos m^{-2} por área de pesca
- d) mantener una biomasa total de 6 mil ton de peso entero de erizo rojo en toda el área en el litoral occidental de Baja California.

Es necesario instrumentar medidas de administración que puedan ser evaluadas durante la temporada de captura, como podrían ser alguno de los puntos de referencia de este trabajo.

VI. RECOMENDACIONES

Para lograr un uso sustentable del erizo *S. franciscanus* en Baja California, es muy importante contar con elementos derivados de estudios científicos para entender el comportamiento de las poblaciones de erizo rojo y poder determinar el impacto de su pesca en sus poblaciones y en el ecosistema. Es urgente hacer estudios de reclutamiento en toda el área de extracción, así como identificación de los stocks pesqueros con estudios genéticos y analizar la incorporación de áreas de reserva marinas, para proteger a las poblaciones fuente de *S. franciscanus* y los sitios importantes de reclutamiento de juveniles.

VII. LITERATURA CITADA

- Andrew, N.L., Y Agatsuma, E. Ballesteros, A.G., Bazhin, E.P. Creaser, K.A. Barnes, L.W. Botsford, A. Bradbury, A. Campbell, J.D. Dixon, S. Einarsson, P.K. Gerring, K. Hebrt, M. Hunter, P. Kalvass, R.J. Miller, C.A. Moreno, J.S. Palleiro, R.S. Steneck, R.L. Vadas, D.A. Woodby y Z. Xiaoqi. 2002. Status and management of world sea urchin fisheries. *Ocean. Mar. Biol. A. Rev.* 40: 343-425 p.
- Baker, S.L. 1973. Growth of the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* in two natural habitats. M.S. thesis Calif. State Univ. San Diego. E.U.A. 83 p.
- Bernal F. R. y D.C. Miller. 1973. Preliminary investigation on the red sea urchin resources of British Columbia (*Strongylocentrotus franciscanus*) *Fish. Res. Board Can. Tech. Rep.* 400, 37p.
- Botsford L.W., B. Smith y J. Quinn. 1994. Bimodality in size distributions: The red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. As an example. *Ecol. Appl.* 4(1) 42-50 p.
- Botsford, L.W. 2001. Physical influences on recruitment to California current invertebrate population on multiple scales. *Jour. Mar. Sci.* 58: 1081-1091.
- Breen. P. A. and D.C. Miller. 1978. Recovery rate in three exploited sea urchin populations from 1972 to 1977. *Can Fish. Mar. Serv. Pac. Biol. Sta. Res Serv. Branch, Nanaimo, B.C. Rep.* 1446, 27 p.
- Candy, L. and R. Mahon, 1995. *FAO Tech. Rep. Paper* - No. 347 65 p.
- Carter S.K y G.R. VanBlaricom. 2002. Effects of experimental harvest on red sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) in northern Washington. *Fish. Bull.* 100:662-673 p.
- Cameron, R.A. y S.C. Schroeter. 1980. Sea urchin recruitment: Effect of substrate selection on juvenil distribution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2:243-247 p.
- Crowen, R. K. 1983. The effect of sheephead (*Semicossyphus pulcher*) on red sea urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) populations: An experimental analysis. *Oecologia (Berlin)* 58: 249-255. p

- Dayton P.K., Thrush S.F., Agardy M.T. y R.H. J. Hofman. 1995. Environmental effects of marine fishing. *Aquatic Cons. Marine and Fresh Water Ecosystem* 5:205-232 p.
- Ebert, T. A. 1983. Recruitment in echinoderms. En M. Jangoux y J.M. Lawrence (editores), *Echinoderms Studies I*, 169-203 p A. Balkeema, Rotterdam. 265 p.
- Ebert T. A., J.D. Dixon, S.C. Shroeter, P. E. Kalvass, N.T. Richmond, W. A. Bradbury y D. A. Woodby. 1999. Growth and mortality of red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* across a latitudinal gradient *Mar. Eco. Prog. Ser.* 190: 189-209 p.
- FAO. 2002. FISAT II. www.fao.org/fi/statist/fisoft/fisat
- Farías, Sánchez J.A. (1980). Observaciones Preliminares de una Población de Erizos *S. franciscanus* (Echinodermata : Echinoidea) en Baja California. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. 69 p.
- Feder, H.M., C.H. Turner and C. Limbaugh. 1974. Observations on fishes associated with kelp beds in southern California. *Calif. Dep. Fish Game, Fish Bull.* 160, 144 p.
- Gonzalez A.T. y Gaxiola G. 1991.. Características físico-químicas, biomasa y productividad primaria del fitoplancton en una zona de Surgencia costera de Baja California, *Ciencias Marinas.* 17(3) 21-37 p.
- Hilborn R. y C.J. Walter. 1992. *Quantitative Fisheries Stocks Assessment. Chiice, Dynamics and Uncertainty.* Chapman y Hall Editores. New York EUA 570 p.
- Hilborn R. y C.J. Walter. 1993. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: lessons from History. *Science* 260:17-36 p.
- Hilborn R. y J. Prince, 1996. Concentration profiles and invertebrate fisheries management. *Inter. Rep. School of Fisheries.* University of Washington. 65p.
- INP-SEMARNAP 1998. Estado de salud de las pesquerías. Editado por Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca México, D.F. 453 pp.

- Jakson, JB, M.X. Kirby, W.H. Berger, K. A. Bjorndal, L.W. Bosford, B.J. Bourque, R.H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J.A. Estes, T.P. Humghs, M. J. Tegner y R.R. Warner. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of the costal ecosystem. *Sci.* 293:629-638 p.
- Jennings, S. 2000. *Marine Fisheries Ecology* Blackwell Science. USA. 427 pp.
- Kalvass, P.E y J.M. Hendrix. 1997. The California red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*, Fishery: catch, effort and management trend. *Marine Fish. Rev.* 59: 21-17 p.
- Karpov, K.A., M. Tegner, L. Rogers-Bennett, P. Kalvass y I.K. Taniguchi. 2001 Interactions among red abalones and sea urchins in fished and reserve sites of northern California: Implications of competition to management. *Jour. Shellfish Research* 20(2): 743-753 p.
- Kato, S., y S.C. Schroeter. 1985. Biology of the red sea urchin, *Strongylocentrotus fanciscanus*, and its fishery in California. *Mar. Fish. Rev.* 47:1-20 p.
- Lelevier A. y J.S. Palleiro. 1987. Evaluación preliminar del stock de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California. *Memorias del Simposium sobre Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México.* Ed. CICIMAR INP 139-146 p.
- Leighton, D.L. 1966. Studies of food preferences in algivorous invertebrates of southern California kepl beds. *Pac. Sci.* 20(1):104-113 p..
- Leighton, D.L. 1971. Grazing activities of benthic invertebrates in southern California kelp beds. En W, J. North (editor), *The Biology of Gigant Kelp Beds (Macrocystis) in California.* 421-453 p.
- Levitan, D.R. M.R. Sewell y F. Chia. 1992. How distribution and abundance influence fertilization success in the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. *Ecology* 73 (1): 248-254 p.
- Lundquist, C.J.. 2000. Effects of density dependence and environment on recruitment of costal invertebrates. PhD Thesis. University of California Davis. 162 pp.
- Malagrino, L.G. (1972). Extracción y Preservación de las Gónadas del Erizo de mar. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California 65 p.

- Miller, B.A. y R.B. Emlet. 1997 The influence of shore hydrodynamics on larval abundance and settlement of the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* and *Strongylocentrotus purpuratus* in the Oregon upwelling zone. Marine Ecology Progress Series 148: 83-94 p.
- Moberg, P.E. y R.S. Burton. 2000. Genetic heterogeneity among adult and recruit red sea urchins, *Strongylocentrotus franciscanus*. Mar. Biol. 136:773-784 p.
- Montaño G. 2001. Sea Urchin-kelp forest communities in Marine Reserves and areas of exploitation: Community interactions, populations and metapopulation analyses. Doctor . thesis. Oregon State University. 136 p.
- Morgan, L.E. Wing, S.R., Botsford ,S.R. Wing, B.D. Smith. 2000. Spatial variability in growth and mortality of the red sea urchin, *Strongylocentrotus franciscanus* in northern California. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57:98-992 p.
- Mottet, M.G. 1976. The fishery biology of sea urchins in the family *Strongylocentrotidae*. Wash. Dep. Fish. Tech. Rep. 20:1-66 p.
- National Marine Fisheries Service, 2003 Pagina de Internet noaa/nmfs.gov.us
- Palumbi,S.R. y A.C. Wilson. 1990. Mitochondrial DNA diversity in the sea urchins *Strongyloentrotus purpuratus* and *S. dobrachiensis*. Evolution. 44(2) 403- 415 p.
- Palleiro Nayar,J.S.1982. Estimación de la Densidad y Crecimiento del erizo rojo, *S.franciscanus* (Agassiz) para la zona de Santo Tomas, B.C. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California 68 p.
- Palleiro Nayar,J.S., A. Lelevier Grijalva, M. Navarrete Gutierrez, y J.M.Romero Martinez. 1988. Biología del erizo de rojo *S. franciscanus* y su pesquería en Baja California,México. Los Recursos Pesqueros del Pais. XXV Aniversario del Instituto Nacional de la Pesca. Secretaria de Pesca 52-70 p.
- Palleiro Nayar, J.S., A. Lelevier Grijalva, M. Navarrete Gutierrez, y J.M.Romero Martinez. 1989. Informe de la temporada de captura 1988-1989 para el erizo rojo en Baja California.CRIP Ensenada. Informe Interno. 35 p.

- Palleiro Nayar, J.S., D. Aguilar Montero., y J.M.Romero Martinez. 1996. La pesquería del Erizo de Mar en Baja California, México. Las Pesquerías Relevantes de México. XXX Aniversario del Instituto Nacional de la Pesca. SEMARNAP 313-335 p.
- Palleiro Nayar, J.S., M.L. Salgado Rogel, D. Aguilar Montero., y J.M.Romero Martinez. 2003. Análisis de la pesquería del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la costa noroccidental de Baja California. INPESCA (1): 40-45 p.
- Pérez S.M. 1995. Analisis biologico pesquero del erizo rojo *S. franciscanus* y erizo morado *S. purpuratus* de la zona II de pesca de Baja California México. Tesis de Maestría en Ecología Marina. CICESE 102 p.
- Parés S.A, M. López y E. Pavía. 1997. Oceanografía Física del Océano Pacifico Nororiental 1-24. Contribuciones a la Oceanografía Física de México, Monografía No. 3 Unión Geofísica Mexicana 272 p.
- Quast, J.C. 1968. Observations on the food of the kelp-bed in California. Fish Bull. 139:109-142.
- Quinn J. F, S.R. Wing y L.W. Botsford. 1993. Harvest refugia in marine invertebrate fisheries-models nad application to the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* American Zoologist 33 (6): 537-550 p.
- Reyes Ramírez, A.2002. Tasas de pastoreo de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* con la alga roja *Rhodomonas sp.* Tesis de Licenciatura Oceanología. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. 74 p.
- Ruiz López, A., D. Herrera González y J. Castro Ruiz. (1987). Análisis Anual Histológico y Productividad Orgánica Gonadal en el Ciclo Reproductivo del Erizo Rojo *S.franciscanus* Echinodermata:Echinoidea en Punta San Miguel, Ensenada, B.C. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Baja California. 68 p.
- Rogers-Bennett, 2001 Review of some California Fisheries for 2000. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. 42 :14-15 p.
- Rogers-Bennett, 2002 Review of some California Fisheries for 2001. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations. 43:16-17 p.
- Rogers- Bennett, L., H. C. Fastenau, T.Hibbard, Z. Kain y C.M. Dewees. 1994. Culturing red sea urchin for experimental outplaning in Northern California. Final Report University of California Davis. 10 p.

- Rogers-Bennett, L y J.S. Pears. 2001. Indirect benefits of Marine Protected Areas for juvenile abalone. *Conservation Biology*. 15 (3): 642-647 p.
- Rogers- Bennett, L., Rogers, D.W. Bennett ,W.A. y T.E. Ebert. 2003. Modeling red sea urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) growth using six growth functions. *Fish. Bull.* 101:614-626 p.
- Rowley R.J. 1990. Newly settled sea urchin in a kelp bed and urchin barren ground: a comparison of growth and mortality. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 62: 229-240 p.
- Salgado-Rogel, M.L., J.S. Palleiro, D. Aguilar. 2003. Estudio comparativo de la abundancia de erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) en la costa noroccidental de la Península de Baja California. *INPESCA* 1: 46-53 p.
- Shelton J.H. Mayers R.A. y Dunn A. 2001. Is catch-per-unit-effort proportional to abundance?. *Can. Fish. Aquat. Sci.* 58:1760-1772 p.
- Schroeter, S., J. Dixon, T. Ebert y J. Richards. 1992. Urchins settlement patterns. The management and enhancement of sea urchins and other kelp bed resources: A Pacific rim perspective. *California Sea Grant*. 43p
- Statsoft. 1999. Statistics for windows. Computer Program Manual, Tulsa, USA
- Storer T.I., R. L. Usinger, R.C. Stebbins y J.W. Nubakken . 1975. *Zoología General*. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España.867 p.
- Sweetman D. , 2003 Review of some California Fisheries for 2002. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*. 44: 16-27 p.
- Tegner, M.J. 2001. The ecology of *Strongylocentrotus franciscanus* and *Strongylocentrotus purpuratus*. *Edible Sea urchins: Biology and Ecology*. Editor John Miller Lawrance. 251 pp.
- Tegner, M.J.y P.K. Dayton. 1977. Sea urchin recruitment patterns and implications of commercial fishing. *Science* 196:324-326 p.
- Tegner, M.J. y P.K. Dayton. 1981. Population structure recruitment and mortality of two sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* y *S. purpuratus*) in a kelp forest near San Diego, California. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 5:255-268 p.

- Tegner, M.J. y L.A. Levin. 1982. Do sea urchin and abalones compete in California kelp forest communities. p. 265-271. In J.M. Lawrence (editor), Int. Echinoderms Conf. Tampa Bay, A. A. Balkema, Rotterdam.
- Tegner, M.J. y P.K. Dayton. 1991. Sea urchins, El Niños, and the long term stability of southern California kelp forest communities.. Mar. Ecol. Progr. Ser. 77:49-63 p.
- Urias Gonzalez L. 1994. Analisis gonadal a nivel histologico del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la Zona II Santo Tomás, B.C. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California 67 p.
- Wheeler, P.A. y W. J. North. 1981. Nitrogen , tissue composition, and frond growth rates for *Macrocystys pyrifera* off the coast of southern California. Mar. Biol. 64:59-69 p
- Wing, S. R. Botsford L.W. Largier, J.I y L.E. Morgan. 1995. Spatial structure of relaxation events and crab settlement in the northern California upwelling system. Mar. Ecol. Prog. Ser. 128:199-211 p.
- Wing, S. R. Botsford L.W. Largier, J.I y Ralson S. 1998. Meroplanktonic distribution and circulation associated with a coastal retention zone in northern California upwelling system. Limnology and Oceanography. 43 , 1710-1721 p.
- Wooster, W.S. 1988. Fishery Science and management. Objectives and limitations. Springer-Verlag Primera edición. New York .339 pp.
- Zar J.H. 1984. Bioestadistical Analysis 2da. Ed. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 718 pp.