



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE  
BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

APLICACIÓN DE UN MODELO BIOECONÓMICO A LA  
PESQUERÍA DEL ERIZO ROJO *Strongylocentrotus franciscanus* DE  
LA COSTA NOROCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA,  
MÉXICO.

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE  
OCEANOLOGO  
PRESENTA:

YUNUEN CANEDO LÓPEZ

ENSENADA, B.C.. ABRIL DE 1998

## RESUMEN

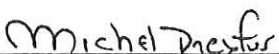
La pesquería de erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*), recurso importante de Baja California, ha dado muestras de sobreexplotación. Se aplicaron los modelos de Rendimiento por Recluta (RPR) y de Optimización Dinámica de Beverton y Holt, para encontrar la talla de primera captura que permite optimizar ganancias y tratar de asegurar la permanencia del recurso para futuras generaciones. Los parámetros biológicos usados fueron:  $L_{\infty}=155$  mm,  $K=0.22$  y  $M=0.22$ . El modelo de RPR sugiere que para maximizar los rendimientos es necesario incrementar la talla de primera captura a 105 mm y aplicar mortalidades por pesca cercanas a 0.65. El modelo de Optimización Dinámica indicó que la talla de captura óptima disminuye con el aumento de la tasa de descuento, así como la biomasa de la cohorte, lo que se refleja en una disminución de los rendimientos. Para tasas de descuento menores del 5%, las que se recomiendan para esta pesquería, la talla óptima de captura está comprendida entre los 110 y 116 mm. Ambos modelos sugieren que la talla mínima legal establecida por la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), de 80 mm del erizo rojo está por debajo de la talla que permite optimizar las ganancias. Para lograr mayores capturas a largo plazo y maximizar el beneficio económico es necesario incrementar la talla de primera captura a 110 mm. Para el caso de tasa de descuento de 0% se calculó el intervalo de tiempo en el cual la pesca se efectúa a una tasa máxima. Los resultados indicaron que la temporada de pesca puede ser reducida de 8 a 4 meses, pero no se recomendó hacerlo por los problemas sociales que puede acarrear.

APLICACIÓN DE UN MODELO BIOECONÓMICO A LA  
PESQUERÍA DEL ERIZO ROJO *Strongylocentrotus franciscanus* DE  
LA COSTA NOROCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA,  
MÉXICO.

TESIS  
QUE PRESENTA:

YUNUEN CANEDO LÓPEZ

Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente del Jurado  
M.C. Michel Jules Dreyfus León

  
\_\_\_\_\_  
Sinodal Propietario  
M.C. Eliseo Almanza Heredia

  
\_\_\_\_\_  
Sinodal Propietario  
M.C. Alfredo Cota Villavicencio

## DEDICATORIA

Al el ser más maravilloso que conozco, mi mejor amiga, mi madre, **Margarita López**.

A mi papá, **Dr. Edmundo Canedo**, guerrero incansable, por enseñarme a luchar para alcanzar mis sueños.

A mi hermano, **Edmundo**, por todo lo que hemos compartido juntos y que nos convierte en dos seres inseparables, aún en la distancia.

A mis abuelitas: **Luz, Rosita y Carmen** por la semilla que sembraron en mí y que hoy las hace parte de mí misma.

## AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, M.C. Michel Dreyfus, por la oportunidad trabajar contigo y aprender de tí.

A mis sinodales, M.C. Eliseo Almanza Heredia y M.C. Alfredo Cota Villavicencio por las aportaciones que hicieron a este trabajo.

Al M.C. Rafael Hernández Walls... por todo.

A la M.C. Evlin Ramírez Félix, por compartir conmigo su literatura, aún sin conocerme.

A todos mis maestros. especialmente a aquellos quienes han ido más allá de su deber, por lo que dejaron en mí.

A mis tías, Alejandra y Cristina López, por todo su apoyo y por creer en mí.

A Tzarara, Maricruz, Gabi, Alberto y a las tres mosqueteras, Giovanna, Norma y Nancy, por su amistad incondicional.

A Edgar, por tanto cariño y tanta paciencia.

## INDICE

|   | Página |
|---|--------|
| Lista de figuras  | vii    |
| Lista de tablas   | ix     |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                      | 1      |
| 1.1 Antecedentes.....                                     | 2      |
| 1.1.2 Biología y ecología del recurso.....                | 2      |
| 1.1.3 La Pesquería del erizo rojo en Baja California..... | 5      |
| 1.2 Objetivo.....   | 12     |
| 2. METODOLOGÍA.....                                       | 13     |
| 2.1 Modelo de Rendimiento por Recluta.....                | 13     |
| 2.1 Modelo de Optimización Dinámica.....                  | 14     |
| 3. RESULTADOS.....  | 19     |
| 3.1 Modelo de Rendimiento por Recluta.....                | 19     |
| 3.1 Modelo de Optimización Dinámica.....                  | 22     |
| 4. DISCUSIÓN.....   | 29     |
| 5. CONCLUSIONES.....                                      | 35     |
| 6. RECOMENDACIONES.....                                   | 37     |
| 7. LITERATURA CITADA.....                                 | 38     |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Página |
|--|--------|
| Fig. 1. Captura anual de Erizo Rojo en la costa noroccidental de Baja California.  | 6      |
| Fig. 2. Esfuerzo y CPUE de erizo rojo en Baja California.  | 7      |
| Fig. 3. Localización de las zonas pesqueras para Erizo Rojo en Baja California.  | 8      |
| Fig. 4. Diagrama de contornos de igual rendimiento para el erizo rojo.   | 19     |
| Fig.5. Talla de captura óptima respecto a la tasa de descuento.  | 22     |
| Fig. 6. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una $F=0.85$ , a partir de la edad óptima $t_5=6.27$ años para una tasa de descuento de 0%.  | 25     |
| Fig. 7. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una $F=0.85$ , a partir de la edad óptima $t_5=5.59$ años para una tasa de descuento de 5%.  | 25     |
| Fig. 8. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una $F=0.85$ , a partir de la edad óptima $t_5=5.05$ años para una tasa de descuento de 10%. | 26     |
| Fig. 9. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una $F=0.85$ , a partir de la edad óptima $t_5=4.26$ años para una tasa de descuento de 20%. | 26     |

|   |    |
|---|----|
| Fig. 10. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una $F=0.85$ , a partir de la edad óptima $t_s=3.69$ años para una tasa de descuento de 30%. | 27 |
| Fig. 11. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una $F=0.85$ , a partir de la edad óptima $t_s=2.93$ años para una tasa de descuento de 50%. | 27 |
| Fig. 12. Intervalo de pesca óptima para una tasa de mortalidad por pesca de 0.4   | 28 |
| Fig. 13. Intervalo de pesca óptima para una tasa de mortalidad por pesca de 0.988.  | 29 |

## LISTA DE TABLAS

|  | Página |
|--|--------|
| Tabla I. Captura estimada por área o nación (FAO, 1994).   | 9      |
| Tabla II. Rendimiento por recluta correspondiente a una talla de reclutamiento de 80 mm y al promedio anual de F durante 1996. | 20     |
| Tabla III. Resultados obtenidos por el modelo de Rendimiento por Recluta.  | 21     |
| Tabla IV. Edad y talla de captura óptimas para diferentes tasas de descuento.  | 23     |

## 1. INTRODUCCIÓN

El erizo de mar constituye un elemento muy importante de la comunidad bentónica, tanto numérica como funcionalmente, en la costa noroccidental de Baja California, además de ser la base de una pesquería comercialmente importante en la región (Ebert y Russell, 1992; Cota-Villavicencio *et al.*, 1997).

Baja California es el único estado de nuestro país que explota comercialmente el erizo. Existen sólo dos especies que tienen importancia comercial: erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus* y erizo morado, *S. purpuratus*; de éstas, la primera se ha visto sometida a una mayor explotación, ya que alcanza el tamaño más grande entre las especies de erizo en el mundo y posee un alto rendimiento y calidad en sus gónadas (Kato, 1972; Cota-Villavicencio *et al.*, 1997; Palleiro-Nayar *et al.*, 1988).

En la pesquería del erizo se aprovecha básicamente la gónada; ésta es utilizada para consumo humano directo y en general la producción mundial es para exportación, específicamente al mercado japonés (Palleiro-Nayar *et al.*, 1988).

Los primeros intentos de explotación y procesamiento de gónada de erizo se efectuaron a finales de la década de los sesentas, por una compañía japonesa interesada en introducir en su país este producto (Malagrino, 1972), pero fue hasta 1972 cuando se inició la explotación a nivel comercial en Baja California, así como también en California, Estados Unidos de América (Kato, 1972; Palleiro-Nayar *et al.*, 1988).

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.2 Biología y ecología del recurso.

*Strongylocentrotus franciscanus* pertenece al phylum Equinodermata, clase Echinoidea, orden Echinoidea y familia Strongylocentrotidae. Es el equinoideo regular de mayor tamaño en la costa noroccidental del continente americano, con tallas hasta de 17 cm de diámetro de caparazón (Palleiro-Nayar *et al.*, 1988). Los erizos poseen un duro caparazón calcáreo denominado testa, cubierto por un fino epitelio y armado de espinas móviles. La boca, que se dirige hacia el sustrato, consta de un complejo aparato mandibular compuesto de placas calcáreas, de las cuales cinco son dientes. Todo esto está soportado por un sistema muscular también complejo, al que se denomina "linterna de Aristóteles". Cinco gónadas conforman la estructura más prominente de la cavidad interna de los erizos de mar.

La distribución geográfica del erizo rojo abarca desde Alaska hasta Isla de Cedros en Baja California, mientras que su distribución batimétrica va de 5 a 30 m de profundidad, aunque se han reportado a profundidades hasta de 120 m. Habita en sustratos rocosos, particularmente grietas y hendiduras, evitando limo y arena; se encuentra comúnmente asociado a los mantos de algas cafés como *Macrocystis pyrifera*, por ser esta alga su alimento preferido (Palleiro-Nayar *et al.*, 1988; Kato y Schroeter, 1985).

Los erizos son conocidos por su habilidad para controlar la distribución y abundancia de algas marinas. Estos herbívoros pueden ser el mayor factor determinante de la estructura de comunidades cercanas a la costa (Tegner, 1980).

Los stocks pescables de erizo pueden estar limitados por la cantidad de alimento disponible para soportar crecimiento y/o reproducción. Cuando el alimento es abundante, los animales permanecen en hábitats ocultos y se mueven poco. Cuando el alimento se vuelve escaso, ya sea por un incremento en la presión de pastoreo o por un decremento en la disponibilidad de algas por disturbios tales como tormentas o eventos "El Niño", los erizos abandonan sus hábitats protectores y se alimentan de las algas disponibles. Las especies de preferencia intermedia incluyen *Gigartina armata (spinosa)*, *Laminaria farlowii*, *Eisenia arborea*, *Pterygophora californica* y *Egrecia laevigata* (Tegner, 1989). Pearse *et al.* (1970, citado por Kato, 1972) señala que el erizo también puede subsistir con plancton, detritus y aminoácidos libres.

Tegner (1980), menciona a la competencia y la depredación como los factores más importantes que han controlado los patrones de distribución y abundancia del erizo rojo. Ramos-Mancilla (1985), concluye que dentro de las relaciones interespecíficas del erizo rojo en la zona de Jatay, B.C., la depredación es la que juega el papel más importante debido a la ausencia, en la zona de estudio, de su principal competidor, el abulón; así mismo, menciona que los principales depredadores naturales del erizo que se encuentran en la zona son la langosta roja *Panulirus interruptus*, las estrellas de mar *Pycnopodia helianthoides*, *Astrometris sertulifera*, *Desmasteria imbricata* y el pez vieja *Pimelometopum pulchrum*. Otros depredadores importantes son: la nutria marina *Enhydra lutris*, el tiburón *Heterodontus francisci* y el pez señorita *Oxijulis californica* (Tegner y Dayton, 1981).

Los erizos son dioicos, aunque también se presentan casos de hermafroditismo; la fecundación es externa (Kato y Schroeter, 1985). La reproducción sigue más o menos un ciclo anual aunque existen variaciones dependiendo del lugar y a veces del año (Kato y Schroeter, 1985; Tegner, 1989). Ruiz-Anaya *et al.* (1987) encontró ciclos reproductivos anuales en Punta San Miguel, Ensenada, B.C. El tiempo de la fase plactónica depende de la temperatura y puede variar de una temporada a otra y con la latitud (Pérez y Rodríguez, 1995). Mottet (1976, citado por Palleiro-Nayar *et al.*, 1988), señala que puede prolongarse dos o tres meses dependiendo de que la larva encuentre un sustrato adecuado para fijarse.

Los juveniles de erizo rojo se encuentran casi exclusivamente bajo la protección del dosel de las espinas de los adultos de su misma especie, asociación que influye fuertemente al establecimiento y sobrevivencia de los juveniles (Tegner y Dayton, 1977).

Tegner y Dayton (1981), estudiaron la estructura de una población de erizos en términos de patrones de reclutamiento y mortalidad cerca de San Diego California y encontraron que el reclutamiento es anual. El patrón de distribución frecuencia-talla en presencia de depredadores naturales fue bimodal, aparentemente porque los juveniles (mayores de 40 mm) son protegidos por las espinas de los adultos, los erizos de tamaño intermedio (50-80 mm) son muy vulnerables a la depredación y los adultos (>90 mm) obtienen un refugio parcial por su tamaño.

El conocimiento que se tiene acerca de la biología reproductiva del erizo se debe a la pesquería; el máximo rendimiento de las gónadas se obtiene precisamente antes del desove, cuando éstas alcanzan 20 % del total del peso corporal (Kato y

Schroeter, 1985). Una vez que los productos sexuales son expulsados, las gónadas se presentan flácidas y de color oscuro, disminuyendo notablemente su volumen; por esta razón, los erizos son capturados antes del desove. Los meses en los que se presenta el mayor índice gonadal son los comprendidos entre septiembre y febrero (Anónimo, 1987). En Baja California la época de desove de erizo rojo ocurre de febrero a mayo y la talla de primera madurez se ha encontrado en organismos de 60-65 mm. (Palleiro-Nayar *et al.*, 1988).

Aparentemente al tamaño de las gónadas está gobernado principalmente por la abundancia de alimento (Kato, 1972).

### 1.1.3 La Pesquería del erizo rojo en Baja California.

La captura de erizo se efectúa mediante buceo semiautónomo, se utiliza una embarcación de seis a siete metros de eslora, comúnmente de fondo de madera con motor fuera de borda de 40 caballos de fuerza, provista de un compresor de medio caballo de fuerza y un depósito auxiliar de capacidad variable con aproximadamente 30 m de manguera. En la operación participan tres personas: el motorista, el cabo de vida y el buzo (Palleiro-Nayar *et al.*, 1988).

En esta pesquería participan los sectores privado y social. Genera aproximadamente 2,000 empleos directos y capta, por concepto de exportación, entre 4 y 6 millones de dólares por temporada (Palleiro-Nayar *et al.*, 1992, citado por Arredondo-Gómez, 1994).

La captura de erizo en Baja California ha presentado grandes fluctuaciones con capturas máximas en los años de 1979 y 1986 (Palleiro-Nayar *et al.*, 1991), esto como consecuencia de una mayor intensidad del esfuerzo pesquero y la incorporación de nuevas zonas de captura. Arredondo-Gómez (1994) indica que la alta producción de 1986, fue propiciada por un aumento en el número de permisos de pesca y por la nula reglamentación en la extracción el recurso, lo que acarrió una merma en las temporadas subsecuentes, dada la lenta recuperación del recurso (Fig. 1).

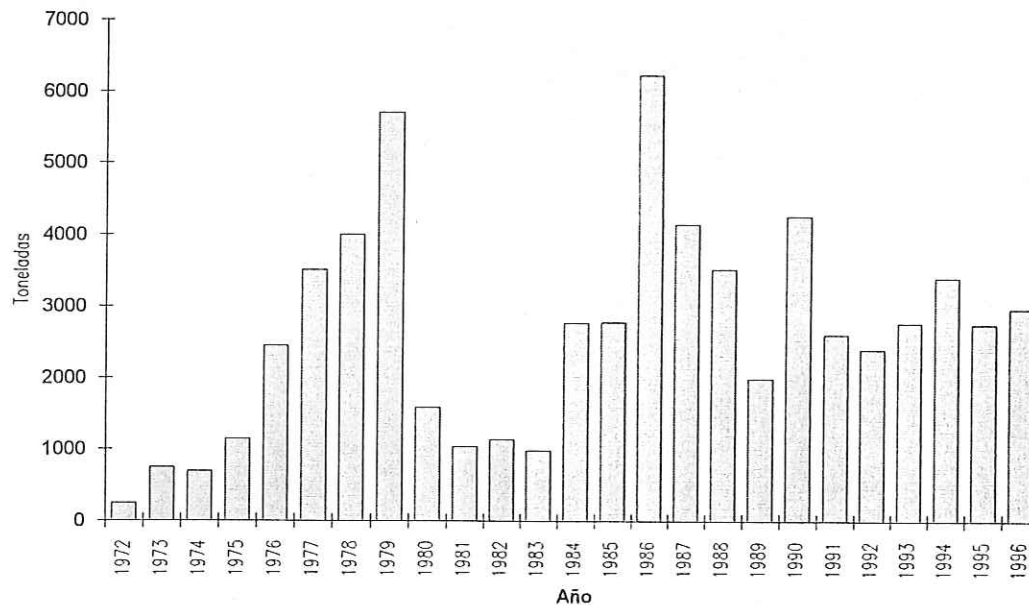


Figura 1. Captura anual de erizo rojo en la costa noroccidental de Baja California<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Tomado de varias fuentes (Anuarios de Pesca SEMARNAP; Palleiro-Nayar *et al.*, 1994)

A partir de 1987, la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) comenzó a declinar debido al aumento en el número de equipos que operaron (Palleiro-Nayar *et al.*, 1991) lo que acarreó la sobreexplotación del recurso (Fig. 2).

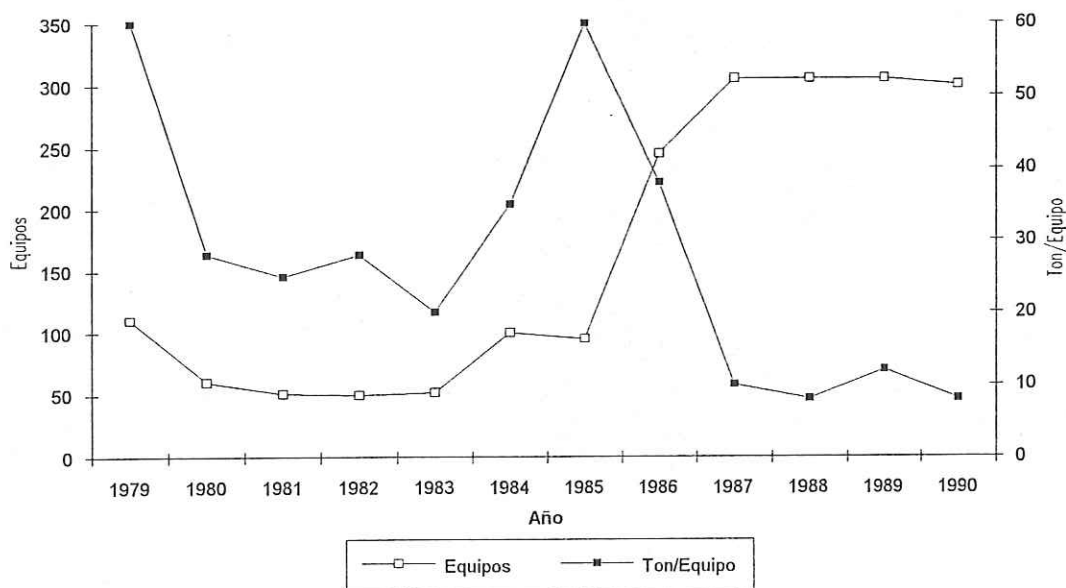


Figura 2. Esfuerzo y CPUE de erizo rojo en Baja California (Tomado de Palleiro-Nayar *et al.*, 1991).

La regulación del erizo rojo se inició en 1987 (Anónimo, 1987); actualmente la época de veda acordada se publicó en 1993 y va del 1 de marzo al 30 de junio de cada año en las aguas de jurisdicción nacional de la costa oeste de Baja California, además de la norma oficial mexicana NOM-007-PESC-1993; la talla mínima legal es de 80 mm (Anónimo, 1993, citado por Ramírez-Félix, 1997). Así mismo se establecen cuotas de captura por zona y por temporada (Almanza-Heredia, 1997). A

pesar de estas regulaciones, la pesquería de erizo no ha logrado recuperarse y los rendimientos tienden a disminuir.

El área de captura, para fines administrativos, se divide en cuatro zonas: Zona I, de Islotes Coronado a Punta Banda; zona II, de Punta Banda a Punta Colnet; zona III, de Punta Colnet a El Socorro y zona IV, de El Socorro a Punta Escarpada (Fig. 3).

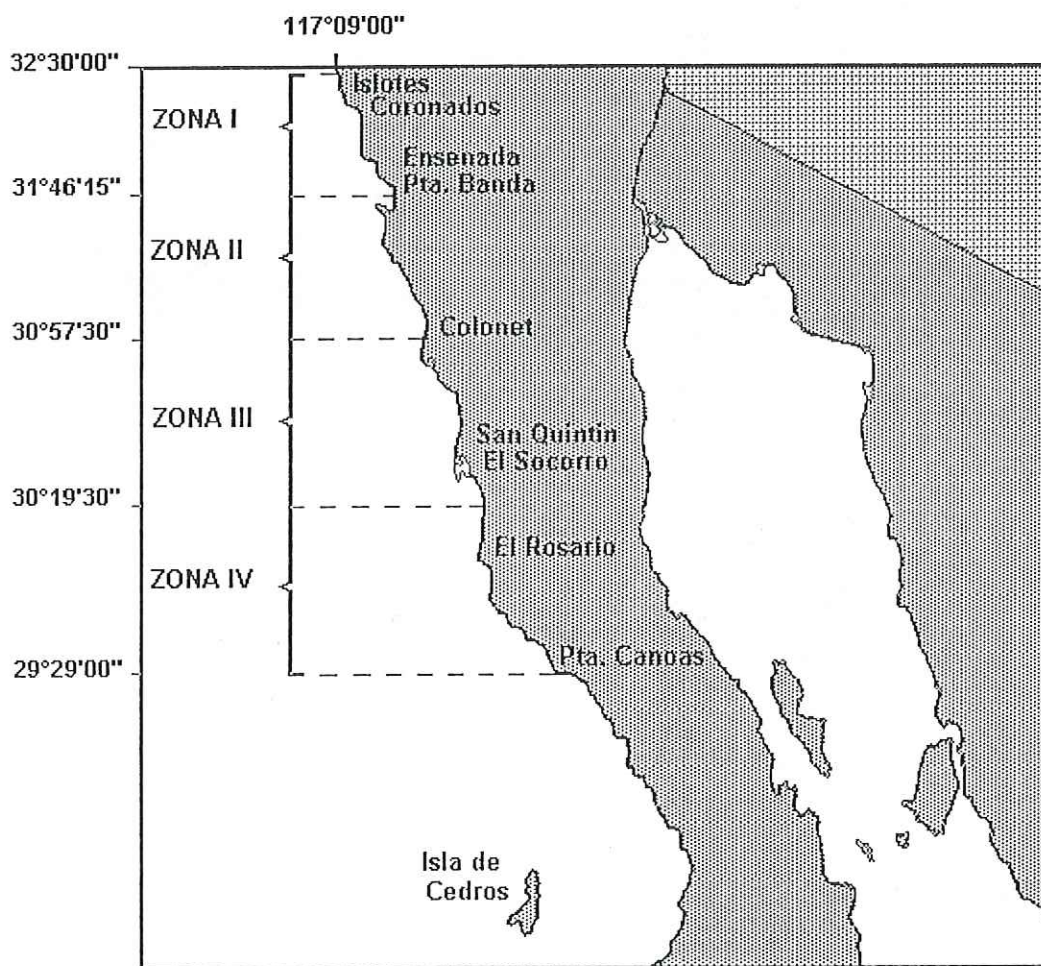


Figura 3. Localización de las zonas pesqueras para erizo rojo en Baja California (Tomado de Pérez y Rodríguez, 1995).

En lo que se refiere al contexto internacional, aproximadamente 50,000 t son capturadas anualmente en todo el mundo (Tabla I), y Japón domina la pesquería tanto en extracción para consumo local, como en importación.

Tabla I. Captura estimada por área o nación (FAO, 1994)

| Lances por área o nación                      | 1990       | 1991       | 1992       | 1993       | 1994       |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Total de <i>Strongylocentrotus spp</i></b> | 54,677 ton | 53,298 ton | 50,543 ton | 49,952 ton | 47,981 ton |
| <b>% de lances de</b>                         |            |            |            |            |            |
| <b>Japón</b>                                  | 35.47%     | 26.52%     | 27.48%     | 27.45%     | 32.36%     |
| <b>Área 21<sup>a</sup></b>                    | 11.22%     | 18.06%     | 24.96%     | 40.51%     | 35.58%     |
| <b>Área 77<sup>b</sup></b>                    | 27.76%     | 29.22%     | 24.23%     | 18.23%     | 19.65%     |

<sup>a</sup> Canadá / Estados Unidos

<sup>b</sup> Islas Cook / Estados Unidos / México

Existen varios trabajos encaminados a evaluar las poblaciones de erizo rojo, así como su pesquería. Lelevier y Palleiro-Nayar (1987), emplearon el Método de Análisis de Cohortes Estructurado por Tallas para calcular las tasas de mortalidad total (Z), por pesca (F) y de explotación (E); sus resultados indicaron que la pesquería se encuentra sobreexplotada. Además, a través del modelo de Rendimiento Relativo observaron que el rendimiento máximo sostenible se alcanzaría a una talla media de primera captura de 100 mm, manteniendo constante la F calculada.

Palleiro-Nayar *et al.* (1991), presentaron los aspectos más relevantes de la pesquería, indicando que existe una fuerte presión de pesca sobre este recurso por el alto número de equipos de extracción que operan desde 1987. Además, por medio de muestreos de captura comercial en las plantas, de 1984 a 1991, se observó una disminución en las tallas promedio de captura y con muestreos de 1984 a 1987 trabajaron con el programa de computación ELEFAN para determinar la talla de reclutamiento a la pesquería, resultando ser de 75.508 mm de diámetro de caparazón.

Cota-Villavicencio *et al.* (1996), realizaron un análisis de las capturas comerciales de erizo rojo. Encontraron que las cuatro zonas de pesca presentan altos niveles de esfuerzo de pesca, que se han venido incrementando anualmente con la obtención de bajas capturas.

En 1997, Cota-Villavicencio *et al.*, estimaron la abundancia y mortalidad por pesca del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* y morado *S. purpuratus* que se explotan en las costas de Baja California y encontraron que para el erizo rojo, la zona II es la que presenta mayor abundancia, mientras que la zona I es la que presentó menor abundancia en la temporada 1996/1997.

Ramírez-Félix (1997) aplicó los modelos de depensación crítica y de Schaefer simulando situaciones de riesgo mencionadas en encuestas hechas a los involucrados directa e indirectamente en la pesquería de erizo rojo, tales como: pesca

furtiva, cambios de zona al renovar permisos de extracción y variabilidad en la temperatura; en las simulaciones hechas con ambos modelos la biomasa disminuyó para el sistema de permisos, mientras que con concesiones se mantiene a la alza a excepción de los años con temperaturas altas, por lo que concluyó que la mejor opción para preservar la especie es otorgarla en concesión .

Hasta ahora no se ha realizado ningún trabajo que determine la talla de captura que permita optimizar las ganancias, tomando en cuenta aspectos tanto biológicos como económicos, para tratar de asegurar la permanencia de esta pesquería.

## 1.2 OBJETIVO.

Aplicar un modelo bioeconómico dinámico a la pesquería de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* para estimar la talla mínima que permita maximizar ganancias por concepto de la explotación de este recurso en el tiempo.

## 2. METODOLOGÍA.

### 2.1 Modelo de Rendimiento por Recluta.

Para apoyar el modelo bioeconómico, el cual se describe en la siguiente sección, y hacer algunas consideraciones en cuanto a la regulación de la pesquería se aplicó el modelo de rendimiento por recluta descrito por Beverton y Holt (1964), con la siguiente fórmula:

$$Y' = E(1-c)^{\frac{M}{K}} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n (1-c)^n}{1 + \frac{nK}{M} (1-E)}; \quad (1)$$

donde:

$$E = \frac{F}{F + M};$$

$$c = \frac{l_c}{L_\infty};$$

$Y'$  = rendimiento por recluta.

$M$  = coeficiente de mortalidad natural.

$F$  = coeficiente de mortalidad por pesca.

$E$  = tasa de explotación .

$l_c$  = talla de primera captura.

$L_\infty$  = longitud asintótica promedio del organismo.

$K$  = parámetro de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy.

$U_n$  = variable para sumatoria, que toma valores de 1, -3, +3, -1 para  $n = 0, 1, 2, 3$  respectivamente.

Los parámetros utilizados en este modelo son los estimados por Lelevier y Palleiro-Nayar (1987):  $L_{\infty}=155$  mm,  $K=0.22$  y  $M=0.22$ .

Con este modelo se analizaron los rendimientos correspondientes a la talla de reclutamiento de 80 mm y a las tasas de mortalidad por pesca estimadas por Cota-Villavicencio *et al.* (1997) para las cuatro zonas de captura de erizo durante 1996. Así mismo, se estimaron los rendimientos máximos que se pueden alcanzar, bajo esas mismas condiciones y en que medida se deben de modificar, ya sea, talla de reclutamiento o la  $F$ , para alcanzarlos.

## 2.2 Modelo de Optimización Dinámica.

Se determinó la talla óptima de primera captura del erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus*, partiendo de la curva de biomasa de una cohorte, según el modelo de optimización dinámica de Beverton y Holt descrito por Clark (1976), cuya fórmula es:

$$B = \frac{p^{-1}c\delta}{\delta + M - Dw(t)/w(t)} \quad (2)$$

donde:

$B$  = biomasa óptima.

$p$  = precio de venta.

$\delta$  = tasa de descuento.

$c$  = costo del esfuerzo de captura.

$M$  = coeficiente de mortalidad natural.

$w(t)$  = peso que alcanza el organismo a la edad  $t$  de acuerdo a la ecuación de von Bertalanffy (Ricker, 1975).

$Dw(t)$  = derivada del peso que alcanza el organismo a la edad  $t$ .

La curva de peso se define como:

$$w(t) = W_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})^3; \text{ y} \quad (3)$$

$$Dw(t) = \frac{dw}{dt} = W_{\infty} 3K(1 - e^{-K(t-t_0)})^2 * e^{-K(t-t_0)} \quad (4)$$

Si la relación costo/precio es baja (por ejemplo, si una gran proporción de la biomasa óptima de una cohorte tiene valor comercial), entonces la estrategia de pesca puede ser la de capturar a la mayor parte de una cohorte, justo antes de que alcance la edad  $t_{\delta}$ , la cual puede ser deducida a partir de la ecuación:

$$\frac{Dw(t_{\delta})}{w(t_{\delta})} = M + \delta. \quad (5)$$

Sustituyendo  $Dw$  y  $w$ , obtenemos:

$$\frac{W_{\infty} 3K(1 - e^{-K(t-t_0)})^2 (e^{-K(t-t_0)})}{W_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})^3} = M + \delta;$$

simplificando:

$$\frac{3Ke^{-K(t_{\delta}-t_0)}}{1 - e^{-K(t_{\delta}-t_0)}} = M + \delta;$$

despejando:

$$3Ke^{-K(t_s-t_0)} = (M + \delta)(1 - e^{-K(t_s-t_0)});$$

factorizando:

$$(3k + M + \delta)(e^{-K(t_s-t_0)}) = M + \delta;$$

despejando:

$$e^{-K(t_s-t_0)} = \frac{M + \delta}{3K + M + \delta};$$

Aplicando logaritmo natural a la ecuación anterior:

$$-K(t_s - t_0) = \ln\left(\frac{M + \delta}{3K + M + \delta}\right);$$

desarrollando el producto y despejando obtenemos:

$$-Kt_s = \ln\left(\frac{M + \delta}{3K + M + \delta}\right) - Kt_0;$$

despejando  $t_s$ :

$$t_s = \frac{Kt_0 - \ln\left(\frac{M + \delta}{3K + M + \delta}\right)}{K}. \quad (6)$$

Una vez calculada la edad óptima de captura mediante la ecuación 6, se graficó la curva de biomasa de una cohorte mediante la siguiente fórmula:

$$B(t) = N(t) * w(t) \quad (7)$$

donde:

$$N(t) = \begin{cases} Re^{-Mt} & \text{para } 0 < t < t_s \\ Re^{-Mt_s} e^{-(M+F)(t-t_s)} & \text{para } t \geq t_s \end{cases}$$

y  $R$  es el reclutamiento.

Debido a que no se cuenta con valores de reclutamiento de las costas de Baja California y a que este es variable año con año, se manejó  $R=1$  y la biomasa resultante se normalizó con respecto a su valor máximo, denominándola biomasa relativa.

Para el caso especial de  $\delta=0$ , la pesca óptima se realiza cosechando toda la biomasa aprovechable en el instante  $t=t_0$ . Esto implica maximizar el rendimiento aplicando una mortalidad por pesca infinita. Si  $F_{\max}$  es finita, hay un periodo  $t_1 \leq t \leq t_2$ , en el cual la pesca se efectúa a una tasa máxima  $F = F_{\max}$ . Para determinar el intervalo de pesca óptimo  $[t_1, t_2]$ , se utilizó la siguiente ecuación:

$$\int_{t_1}^{t_2} \varphi(t) dt = 0, \quad (8)$$

donde

$$\varphi(t) = e^{-(M+F_{\max})t} \left( \frac{dw}{dt} - Mw \right).$$

La ecuación 7 requiere que  $t_1$  y  $t_2$  sean elegidos en lados opuestos de  $t_0$ , de tal manera que las áreas sean iguales. Así mismo,  $t_1$  y  $t_2$  deben satisfacer la siguiente ecuación:

$$e^{F_{\max}t_1} = \frac{C e^{(M+F_{\max})t_2}}{pRw(t_2)}. \quad (9)$$

Se elaboró un programa computacional para estimar  $t_2 > t_0$ , y calcular  $t_1$  usando la ecuación 8. Se calculó la integral  $I$  de la ec. (7). Si  $I$  era positiva, implicaba que el

valor de  $t_2$  era muy pequeño, entonces se incrementaba  $t_2$  con alguna cantidad dada y se repitió el procedimiento hasta lograr que  $I$  fuera menor a un valor de tolerancia muy cercano a cero.

Para transformar las edades, que resultan al aplicar las ecuaciones 6 y 7, a longitudes y así poder realizar un mejor análisis, se utilizó la ecuación general de von Bertalanffy:

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (10)$$

Al igual que en el modelo de Rendimiento por Recluta (ec.1), los parámetros utilizados en esta ecuación son los estimados por Lelevier y Palleiro-Nayar (1987).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Modelo de Rendimiento por Recluta.

En la figura 4 se muestran los contornos de rendimiento o isopletas, obtenidas para el erizo rojo con el modelo de Rendimiento por Recluta (ecuación 1).

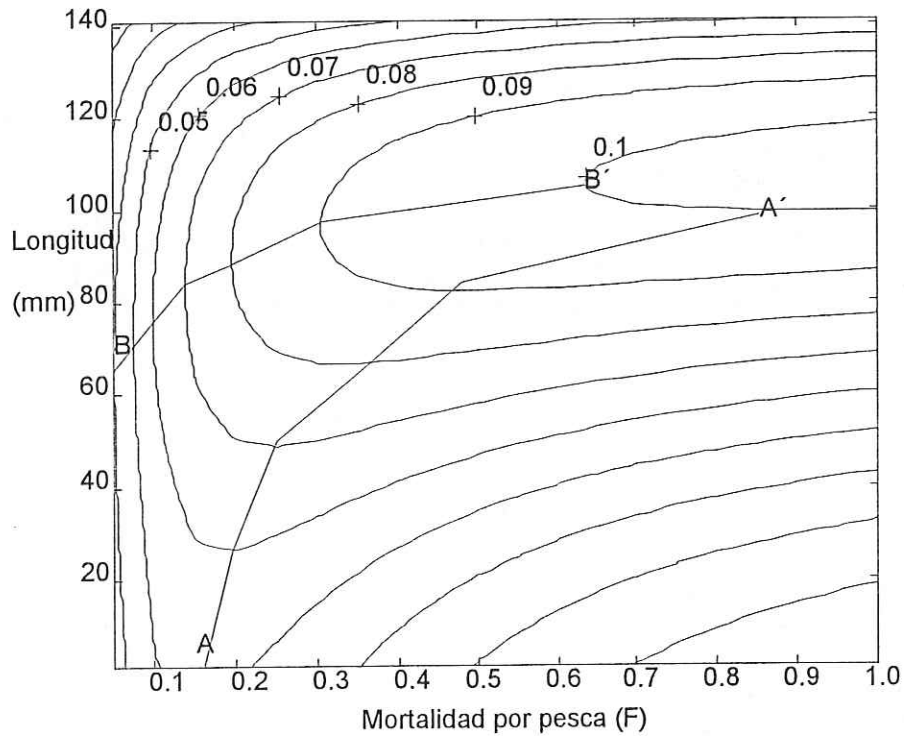


Figura 4. Diagrama de contornos de igual rendimiento para el erizo rojo.

La situación de los mejores rendimientos para una talla dada de reclutamiento y para determinada mortalidad por pesca se representan con las trayectorias A-A' y B-B' respectivamente en la figura 4.

En la tabla II aparecen los rendimientos correspondientes al promedio anual mortalidad por pesca durante 1996, para las cuatro zonas de pesca, suponiendo una talla de reclutamiento de 80 mm.

Tabla II. Rendimiento por recluta correspondiente a una talla de reclutamiento de 80 mm y al promedio anual de F durante 1996.

| Zona | Mortalidad por pesca durante 1996 | Rendimiento |
|------|-----------------------------------|-------------|
| I    | 0.60                              | 0.085       |
| II   | 0.83                              | 0.085       |
| III  | 0.97                              | 0.085       |
| IV   | 0.98                              | 0.085       |

En lo referente a los máximos rendimientos, de acuerdo con este modelo, se obtuvo lo siguiente:

El mayor rendimiento que se puede alcanzar para una talla media de captura de 80 mm es de 0.085, siempre y cuando se maneje un valor promedio anual de mortalidad por pesca (F) mayor de 0.4.

En la zona I el promedio de F resultó ser 0.60. A esta tasa de mortalidad corresponde un rendimiento máximo de 0.095 para una longitud de captura promedio de 105 mm.

La zona II presentó una F promedio de 0.839, a la cual corresponde un rendimiento de 0.1 a una respectiva longitud de captura de 105 mm.

En las zonas III y IV las tasas de mortalidad por pesca fueron muy semejantes, de 0.97 y 0.988 respectivamente. El rendimiento máximo correspondiente es de 0.1 con una longitud de 105 mm.

En la tabla III se resumen estos resultados.

Tabla III. Resultados obtenidos por el modelo de Rendimiento por Recluta

| Zona de Captura | F promedio en 1996 | Máximo Rendimiento | Talla de Captura |
|-----------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Todas           | 0.4                | 0.09               | 80 mm            |
| Zona I          | 0.6                | 0.095              | 105 mm           |
| Zona II         | 0.84               | 0.1                | 105 mm           |
| Zona III        | 0.97               | 0.1                | 105 mm           |
| Zona IV         | 0.98               | 0.1                | 105 mm           |

Si se comparan los rendimientos "reales" con los rendimientos máximos esperados, manteniendo constantes los promedios de F durante 1996, se alcanza un incremento hasta de 10.5 % en la zona I y hasta del 15 % en las zonas II, III y IV, siempre y cuando se incremente la talla de captura a 105 mm de diámetro del caparazón.

Por el contrario, si se mantiene constante la talla de captura en 80 mm, el máximo rendimiento que se puede alcanzar es de 0.085, aunque la mortalidad por pesca aumente hasta 1.

### 3.2 Modelo de Optimización Dinámica.

El modelo bioeconómico se aplicó con tasas de descuento de 5, 10, 20, 30 y 50%. Se observó que con este modelo la edad o talla de captura, es independiente de la relación costo-precio. De acuerdo a este modelo, la talla óptima de captura va disminuyendo conforme aumenta la tasa de descuento (Fig. 5). Mientras que para una tasa de descuento de 0% la talla óptima es de 116 mm, para una tasa de descuento del 50% es de 74 mm; sin embargo, la tasa de descuento ( $\delta$ ) que se maneja comúnmente es cercana al 10%, a la cual le corresponde una talla de 104 mm. En pesquerías que tienen una función social y existe un gran interés en la preservación del recurso para futuras generaciones, se manejan tasas de descuento aún más bajas, de alrededor de 5 % o incluso menores (Tabla IV).

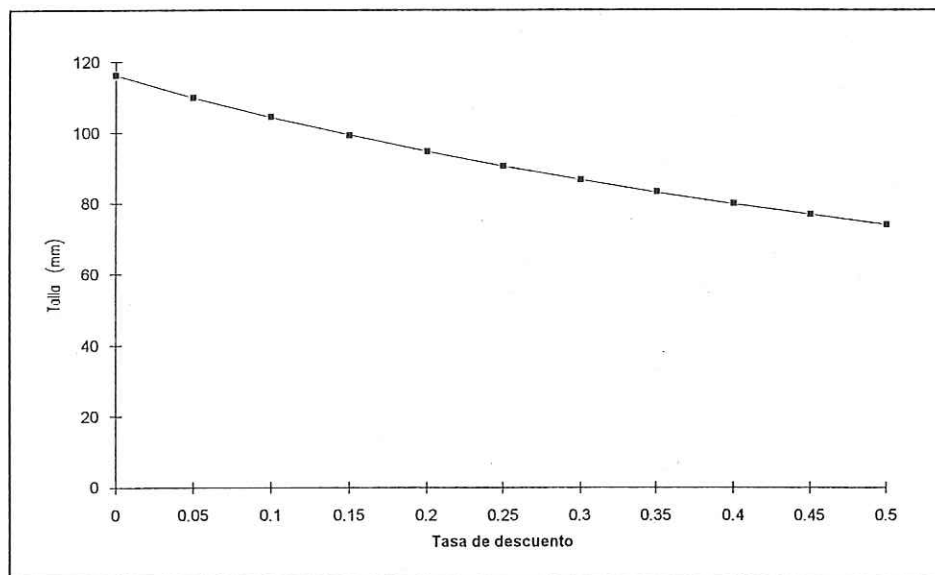


Figura 5. Talla de captura óptima respecto a la tasa de descuento.

En la tabla IV se presenta la edad y talla óptimas de captura de erizo correspondientes a diferentes tasas de descuento. Para tasas de descuento menores del 30% la talla óptima es más alta que la talla mínima legal.

Tabla IV. Edad y talla de captura óptimas para diferentes tasas de descuento.

| Tasa de descuento ( $\delta$ ) | Edad óptima | Talla óptima |
|--------------------------------|-------------|--------------|
| 0                              | 6.27        | 116.25       |
| 5                              | 5.59        | 109.99       |
| 10                             | 5.05        | 104.39       |
| 20                             | 4.26        | 94.72        |
| 30                             | 3.69        | 86.69        |
| 40                             | 3.26        | 79.92        |
| 50                             | 2.93        | 74.13        |

En las figuras de la 6 a la 11 se presenta la biomasa relativa de una cohorte de erizo rojo aplicando una  $F$  de 0.85 (promedio anual de 1994 de las cuatro zonas de captura) a partir de las edades óptimas de captura que se obtuvieron con el modelo bioeconómico para las diferentes tasas de descuento. La línea continua es la biomasa que habría en caso de que no existiera mortalidad por pesca, mientras que la línea punteada es la biomasa en presencia de mortalidad por pesca.

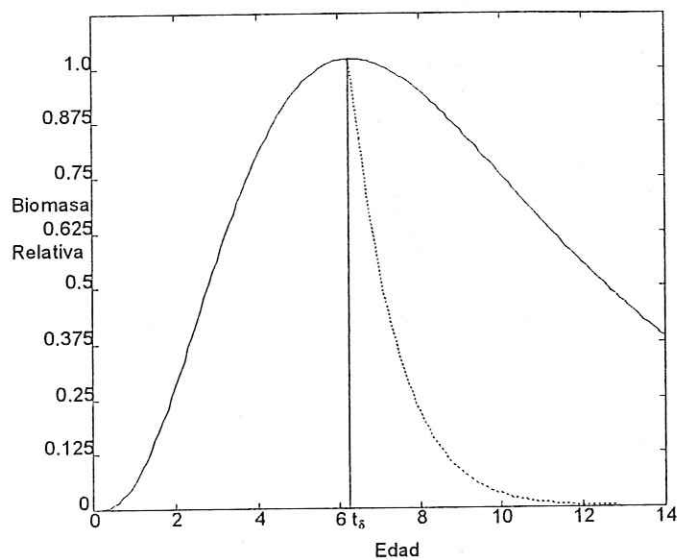


Figura 6. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una  $F=0.85$ , a partir de la edad óptima  $t_s=6.27$  años para una tasa de descuento de 0%.

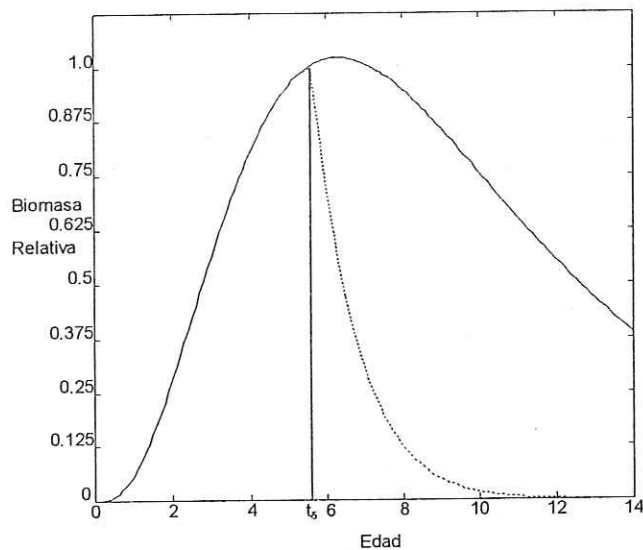


Figura 7. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una  $F=0.85$ , a partir de la edad óptima  $t_s=5.59$  años para una tasa de descuento de 5%.

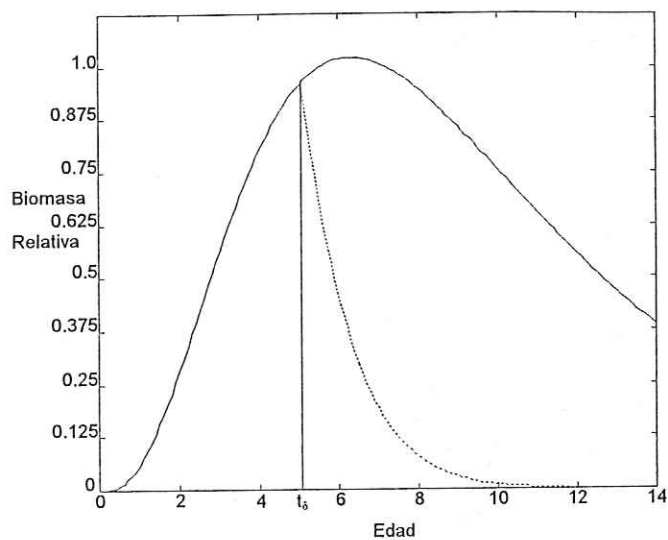


Figura 8. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una  $F=0.85$ , a partir de la edad óptima  $t_\delta=5.05$  años para una tasa de descuento de 10%.

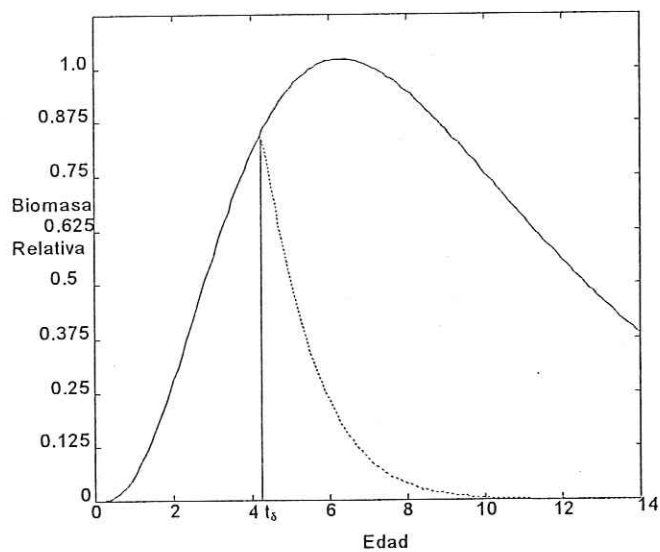


Figura 9. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una  $F=0.85$ , a partir de la edad óptima  $t_\delta=4.26$  años para una tasa de descuento de 20%.

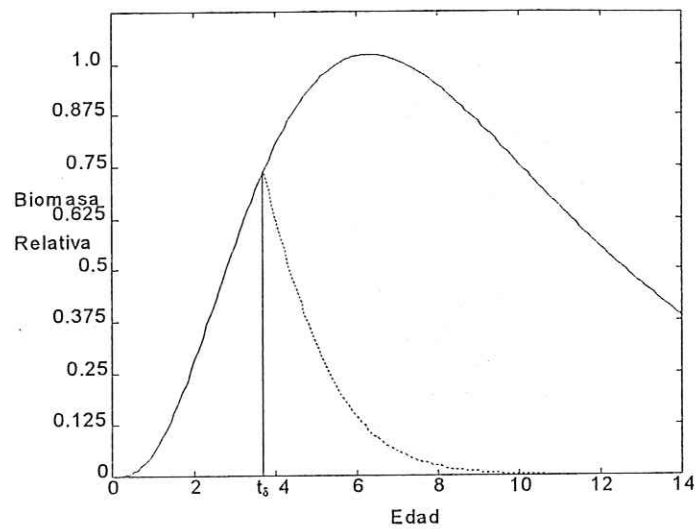


Figura 10. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una  $F=0.85$ , a partir de la edad óptima  $t_8=3.69$  años para una tasa de descuento de 30%.

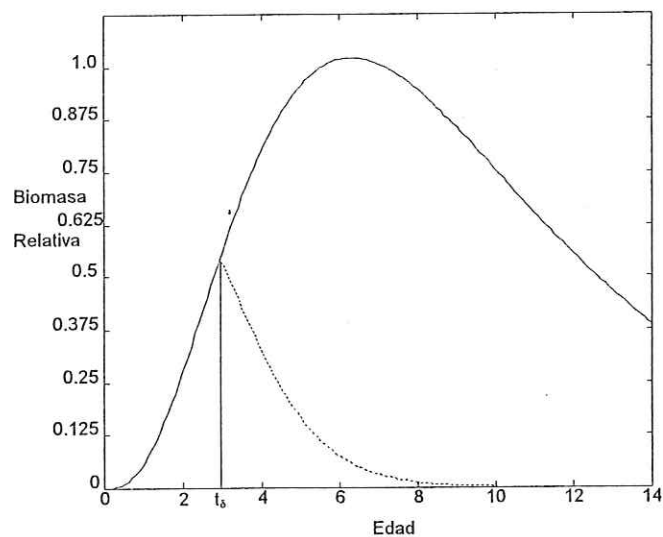


Figura 11. Biomasa de una cohorte de erizo rojo, aplicando una  $F=0.85$ , a partir de la edad óptima  $t_8=2.93$  años para una tasa de descuento de 50%.

En lo que respecta al intervalo de pesca óptimo, se calculó para una tasa de mortalidad por pesca de 0.4, por ser esta la mortalidad mínima necesaria para alcanzar el máximo rendimiento con una longitud de 80 mm, según el modelo de Rendimiento por Recluta. El resultado fue iniciar la pesca a una edad de 6.14 años o 115 mm y terminarla a los 6.47 años de edad o 118 mm, es decir, el periodo de pesca debe durar aproximadamente 4 meses (Figura 12).

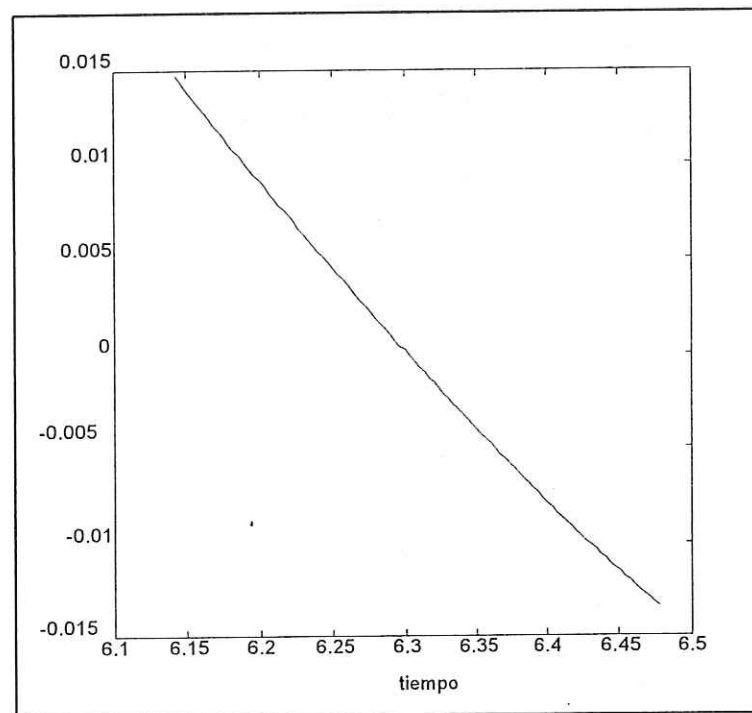


Figura 12. Intervalo de pesca óptima para una tasa de mortalidad por pesca de 0.4.

El eje x representa el tiempo y el eje y es el área bajo la curva de la ecuación

8.

Así mismo, se calculó el intervalo de pesca óptimo para una tasa de mortalidad por pesca de 0.988, la de la zona IV, ya que esta mortalidad fue el promedio anual mas alto en 1996 de las cuatro zonas. El modelo indicó que la pesca se debe realizar cuando los organismos alcanzan una edad entre los 6.15 y 6.4 años, correspondiente a tallas entre 115.2 y 117.3 mm. Lo anterior representa una duración en la temporada de pesca de 3.8 meses (Figura 13).

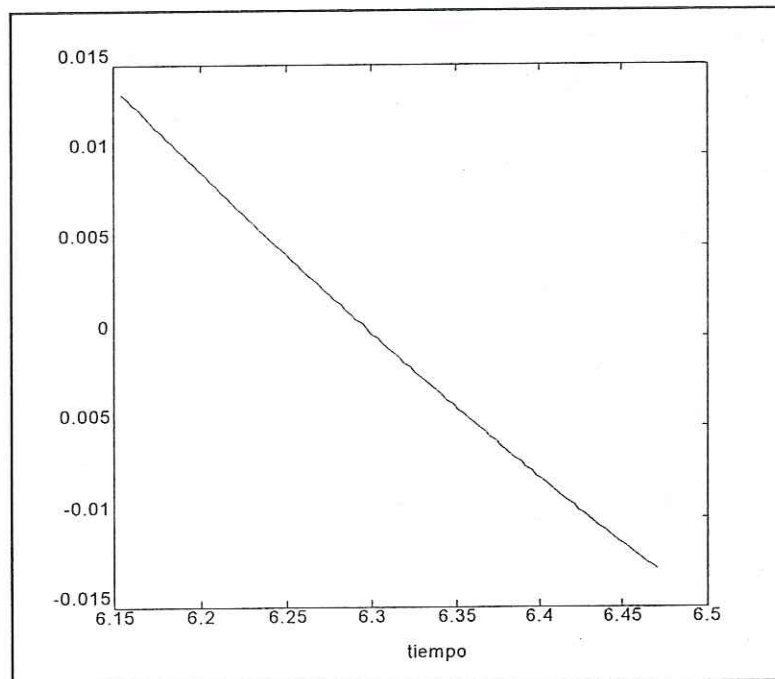


Figura 13. Intervalo de pesca óptima para una tasa de mortalidad por pesca de 0.988.

El eje x representa el tiempo y el eje y es el área bajo la curva de la ecuación

8.

#### 4. DISCUSIÓN

El modelo de Rendimiento por Recluta (RPR) indica que el rendimiento relativo esperado durante 1996 fuera muy similar en las cuatro zonas de pesca, es decir, muy cercano a 0.085, a pesar de que la mortalidad por pesca varió desde 0.6 (zona I) hasta 0.98 (zona II) con una talla de primera captura de 80 mm de diámetro de caparazón. Sin embargo, es posible que el rendimiento por recluta que se alcanzó realmente durante este año, haya sido menor, debido a los siguientes factores: en los valores estimados de mortalidad por pesca no está considerada la pesca pirata, en algunas ocasiones los pescadores capturan erizos de tallas menores a la talla mínima legal y el reclutamiento es variable año con año.

El rendimiento esperado que se obtuvo con el modelo de RPR, con los datos de 1996, en las cuatro zonas de pesca (0.085) es el máximo que se puede alcanzar si se desea mantener la talla de primera captura en 80 mm, con mortalidades por pesca superiores a 0.4.

Para alcanzar el máximo rendimiento, es decir 0.1 (aumentar el rendimiento 15%), es necesario aumentar la talla de primera captura a 105 mm y mantener una mortalidad por pesca de 0.65 o mayor. Para lograr un aumento en el rendimiento del 10.5 % (rendimiento de 0.95) se requiere aumentar la talla de primera captura a 100 mm y mantener una mortalidad por pesca de 0.42 o mayor. Es posible que los porcentajes de aumento en el rendimiento sean incluso mayores porque, como ya se mencionó, los rendimientos relativos deben estar por debajo de lo que indica el modelo.

La implementación de una norma que aumente la talla de primera captura requiere de vigilancia para que los pescadores efectivamente la lleven a cabo, ya que los beneficios de esta nueva reglamentación se observarían a mediano plazo, puesto que la recuperación de las poblaciones de erizo tomaría cierto tiempo.

En Baja California, México, la talla mínima legal de captura de erizo rojo es de 80 mm desde 1993, siendo que en otras localidades se han manejado tallas de primera captura mayores. En la costa sur de Canadá la talla mínima de captura de 100 mm se estableció en 1980 para proteger a la población desovante, pero las cosechas realizadas hasta entonces, se hacían sobre todas las tallas de erizo. En la costa norte, donde inicialmente el esfuerzo era menor (menor número de embarcaciones), se aplicaron diferentes estrategias de manejo. Se puso en efecto una talla mínima de captura de 100 mm y una máxima de 140 mm, además de una rotación de las áreas de pesca similar a la que se maneja en el estado de Washington (Harbo y Hobbs, 1992). En ese estado, la talla legal de captura abarca de 102 a 133 mm y el periodo de captura generalmente va de noviembre a marzo (Pfister y Bradbury, 1996). En British Columbia una de las estrategias de manejo de las aguas del sur está basada en una talla mínima legal de 100 mm, mientras que en las aguas del norte la talla legal comprende de los 100 a los 140 mm (Thomas, 1993).

Los resultados del modelo bioeconómico mostraron que la talla de captura óptima disminuye con el aumento de la tasa de descuento (fig. 5), debido a que tasas de descuento bajas implican que el recurso es tan valioso en el presente como en el futuro, por lo que se busca su preservación a través del tiempo mediante la extracción de organismos de mayor tamaño; en cambio, tasas de descuento altas

implican que el recuso es más valioso en el presente que en el futuro, por lo que la extracción de los organismos comienza desde tallas menores.

Mientras más pequeña sea la talla óptima de captura, la biomasa de la cohorte disminuye notablemente. Lo anterior se aprecia de la gráfica 6 a la 11. Analizando los casos extremos tenemos que a una tasa de descuento del 0% la talla óptima de captura es de 116.25 mm, la cual permite alcanzar una biomasa relativa de la cohorte de 1; sin embargo, con una tasa de descuento del 50% (fig. 11), la talla óptima de captura resulta de 74 mm, pero la biomasa máxima que alcanza la cohorte es de únicamente 0.55, un poco más de la mitad de lo que se alcanza con la talla de 116 mm.

Para el erizo rojo se recomiendan tasas de descuento del 5% o menores considerando la importancia social de su pesquería (Clark, 1985), por el número de empleos directos que genera en Baja California (cerca de dos mil), y el interés que se tiene en la preservación de éste recurso para generaciones futuras, entre otras cosas y porque se considera una "especie clave" por el impacto que tiene en la composición y productividad en las comunidades bentónicas (Estes *et al.*, 1989 y Levitan, 1992; citados por Quinn *et al.*, 1993).

La forma de manejo que permite alcanzar tasas de descuento bajas es la concesión, ya que los pescadores al sentir al recurso como de su propiedad tratan de administrarlo para que perdure. Los permisionarios, por el contrario, al no tener la certeza de que su permiso será renovado, tratan de obtener la mayor ganancia posible en el presente, sin preocuparse por la conservación del recurso para futuras generaciones, lo que implica el manejo de tasas de descuento altas. Ramírez-Félix

(1997), comparó ambas formas de manejo del recurso y concluyó que el otorgar el erizo de mar en concesión es una mejor opción que el permiso de extracción, porque con la primera, la tendencia de la biomasa es a la alza, aunque no es una garantía de la conservación del recurso.

Existe cierta diferencia entre los resultados del modelo de RPR y el de Optimización Dinámica en cuanto a la talla que permite maximizar los rendimientos; el de RPR indica que la talla óptima es de 105 mm, mientras que el bioeconómico indica que debe ser entre 110 y 116 mm (tasas de descuento menores al 5%). Esta diferencia se debe a las consideraciones de cada modelo. El modelo de RPR está en función de factores biológicos ( $L_{\infty}$ ,  $K$  y  $M$ ) y el de Optimización Dinámica de factores tanto biológicos como económicos ( $K$ ,  $t_0$ ,  $M$  y  $\delta$ ); sin embargo, ambos sugieren que es conveniente aumentar la talla de primera captura.

Para el caso de  $\delta$  igual a cero, se necesita un enorme esfuerzo de pesca para cosechar toda la biomasa aprovechable en un periodo de tiempo muy corto, esto es cuando los organismos alcanzan la talla óptima. Por esta razón se calculó un intervalo de tiempo en el cual la pesca se efectúa a una tasa máxima (ec. 7). Este cálculo se hizo con dos diferentes tasas de mortalidad, 0.4 y 0.98, y en ambos casos la duración del intervalo de pesca óptimo resultó ser de 4 meses. Actualmente en Baja California, la temporada de pesca dura 8 meses (de julio a febrero). Este modelo, sugiere que la temporada de pesca puede ser reducida a la mitad y aún así obtener rendimientos apropiados; sin embargo, una reducción tan drástica en la temporada de pesca podría ocasionar problemas de tipo social, porque muchas personas dependen directamente la explotación de este recurso y el lapso de

desempleo al que tendrían que enfrentarse es muy largo; además, disminuir la temporada de captura no es una garantía de que la presión de pesca aminore, ya que por el contrario, puede aumentar el esfuerzo pesquero para compensar la reducción en la temporada de pesca. En otras localidades, como por ejemplo en el estado de Washington, la temporada de pesca dura por lo general 5 meses, de noviembre a marzo, pero las condiciones sociales y del recurso son diferentes.

La extracción de erizo rojo parece afectar su reclutamiento mediante dos maneras. La primera, que ocurre antes de la dispersión larval, es el efecto de la densidad y espaciamento de los adultos en la eficiencia de fertilización. La segunda, que ocurre después de la dispersión larval, es la protección que reciben los juveniles del dosel de las espinas de los adultos (Tegner y Dayton, 1977). Lo anterior hace al erizo particularmente susceptible a colapsos catastróficos y repentinos conforme se incrementa la destrucción de sus hábitats y la presión de pesca (Karlson y Levitan, 1990, citado por Quinn *et al.*, 1993). Aunado a esto, el decremento en la producción de erizo debido a los altos niveles de esfuerzo de pesca (Cota-Villavicencio *et al.*, 1996) hacen imprescindible un manejo adecuado de la pesquería, tanto para un buen aprovechamiento del recurso como para su conservación.

Los modelos utilizados en este trabajo, como todos, tienen ciertas limitantes y fuentes de error. Algunos de los parámetros usados en estos modelos ( $L_{\infty}$ , K y M) cambian en tiempo y en espacio. Las consideraciones hechas con el modelo de RPR parten de que los valores F son correctas, sin embargo, como ya se mencionó, no está considerada la pesca pirata; el modelo de Optimización Dinámica, a diferencia de otros modelos bioeconómicos, no está en función de la relación costo-precio, a

pesar de que ésta es importante para determinar la talla óptima de captura. Aún bajo estas condiciones y las consideraciones hechas, estos modelos pueden ayudar a la toma decisiones para el manejo de la pesquería del erizo rojo.

## 5. CONCLUSIONES

El modelo de RPR sugiere que para maximizar los rendimientos es necesario incrementar la talla de primera captura a 105 mm y aplicar mortalidades por pesca superiores a 0.65.

La talla de captura óptima del modelo bioeconómico disminuye con el aumento de la tasa de descuento.

Se recomiendan tasas de descuento menores al 5% para conservar este recurso para futuras generaciones. El modelo bioeconómico sugiere que, para estas tasas de descuento, la talla de primera captura óptima está comprendida entre los 110 y 116 mm.

Mientras más pequeña es la talla de primera captura, la biomasa de la cohorte disminuye lo que implica menores rendimientos.

Ambos modelos sugieren que la talla mínima legal establecida por la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), de 80 mm del erizo rojo está por debajo de la talla que permite optimizar rendimientos. Para lograr mayores capturas a largo plazo y maximizar el beneficio económico es necesario incrementar la talla de primera captura a 110 mm.

La temporada de captura puede reducirse a 4 meses de duración y seguir obteniendo rendimientos, sin embargo, no se recomienda hacerlo por los problemas sociales que puede acarrear.

## 6. RECOMENDACIONES

Para hacer un buen uso de los modelos aplicados en este trabajo, es necesario contar con parámetros biológicos actualizados de la especie, ya que éstos cambian en tiempo y espacio, así como con datos confiables de mortalidad por pesca.

Manejar tasas de descuento bajas (menores del 5%) y otorgar al erizo preferentemente en concesión como formas de contribuir a la conservación de la especie para futuras generaciones.

Aumentar la talla mínima legal de captura a 110 mm para maximizar, a mediano plazo, los rendimientos económicos de la pesquería.

Establecer mayor vigilancia para que se respeten las leyes que regulan al erizo rojo, ya sea por parte del gobierno y/o de los propios pescadores.

## 7. LITERATURA CITADA

- Almanza-Heredia, E. (1997). Análisis de un esquema mixto de explotación y conservación para los recursos bentónicos de escasa movilidad en Baja California. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California. 57 pp.
- Arredondo-Gómez. (1994). La Microempresa en Baja California. Paradigmas. Universidad Autónoma de Baja California, Año 2 (5): 33-42.
- Anónimo. (1987). Esquema de regulación propuesto para la administración de la pesquería de erizo rojo y morado de la costa Oeste de Baja California. Consulta Popular para la planeación democrática de la pesca en materia de Administración de Pesquerías. Secretaría de Pesca. Documento interno, 23 pp.
- Anónimo. (1995). Anuario Estadístico de Pesca 1994. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 385 pp.
- Anónimo. (1997). Anuario Estadístico de Pesca 1996. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 232 pp.
- Beverton, R. J. H. and Holt, S.J. (1964). Tables of Yields Functions for Fishery Assessment. FAO Fish. tech. Pap. (38): 49 pp.
- Clark, C. W. (1976). Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources. John Wiley & Sons, New York, 230 pp.
- Clark, C. W. (1985). Bioeconomic Modelling and Fisheries Management. John Wiley & sons, Inc., New York, 291 pp.

- Cota-Villavicencio, A; Aguilar-Montero, D; Romero-Martínez, M y Uribe-Osorio, F. (1996). Análisis de las Capturas Comerciales Del Erizo Rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) explotado en la Costa Noroccidental de Baja California. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (2):1-4.
- Cota-Villavicencio, A; Aguilar-Montero, D. y Romero-Martínez, M. (1997). Estimación de Abundancia y Mortalidad por Pesca del erizo *Strongylocentrotus franciscanus* y morado *S. purpuratus* que se explotan en las Costas de Baja California, México. Centro Regional de Investigación Pesquera, Ensenada.
- Ebert, T. A. and Russell, M. P. (1992). Growth and Mortality Estimates for Red Sea Urchin *Strongylocentrotus franciscanus* from San Nicolas Island, California. Mar. Ecol. Prog. Ser, 81: 31-41.
- Harbo, R. and Hobbs, K. (1992). Sea Urchin Fisheries of British Columbia, Canadá. Presented at the Sea urchin, Kelp and Abalone Conference Sea Grant Program University of California Bodega Bay Marine Laboratory. Bodega Bay, California . March 18-21. 1992.pp 1-8.
- Kato, S. (1972). Sea Urchins: A New Fishery Develops in California. Mar. Fish. Rev, 34 (9-10): 23-30.
- Kato, S. and Schroeter, S. C. (1985). Biology of the Red Sea Urchin *Strongylocentrotus franciscanus*, and its Fishery in California. Mar. Fish. Rev, 47(3):1-20.

- Lelevier, A y Palleiro-Nayar, J. (1987). Evaluación del Stock de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California. En: Ramírez-Rodriguez, E. M. (1987). Memorias del Simposium sobre Investigación en Biología y Oceanografía Pesquera en México. La Paz, B.C.S, pp. 139-146.
- Malagrino-Lumare, G. (1972). Extracción y Preservación de las gónadas de Erizo. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Baja California, 79 pp.
- Palleiro-Nayar, J. S.; Navarrete-Gutierrez, M y Lelevier-Grijalva, A. (1988). Biología del erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus* y su pesquería en Baja California. En: Los recursos pesqueros del país. SEPESCA, INP. Impreso en México, primera edición. pp 53-73.
- Palleiro-Nayar, J. S; Aguilar-Montero, D. y Romero, J. M. (1991). La pesquería del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California, México. Taller México-Australia sobre reclutamiento de Recursos Bentónico de Baja California. Pesca IPN, pp 81-89.
- Pérez y Rodriguez, S. M. (1995). Análisis Biológico Pesquero del Erizo Rojo *Strongylocentrotus franciscanus* y Morado *S. purpuratus* de la zona II de Pesca de Baja California, México. Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. 105 pp.
- Pfister, C. A. and Bradbury, A. (1996). Harvesting Red Sea Urchins: Recent Effects and Future Predictions. *Ecological Applications*, 6(1):298-310.
- Quinn, J. F; Wing, S. R. and Botsford, L. W. (1993). Harvest Refugia in Marine Invertebrate Fisheries: Models and Applications to the Sea Urchin, *Strongylocentrotus franciscanus*. *Amer. Zool.*, 33:537-550.

- Ramírez-Félix, E. A. (1997). La Concesión para Explotación Pesquera y su efecto en el Erizo Rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*, A. Agassiz, 1863) en el Área de Santo Tomás a Punta China, Baja California. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California. 93 pp.
- Ramos-Mancilla, M. T. (1985). Relaciones interespecíficas del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (Agassiz, 1863) en la comunidad de un manto de algas pardas (*Macrocystis pyrifera*) en la zona de Xatay, Baja California, México. Informe Memoria del curso de titulación, Universidad Autónoma de Baja California. 26 pp.
- Ricker, W. E. (1975). Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada. Bulletin 191. Ottawa.
- Ruiz-Anaya, A.; Herrera-Salinas, D. y Castro-Longoria, J. (1987). Análisis Anual Histológico y Productividad Orgánica Gonadal en el Ciclo Reproductivo del Erizo Rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (Agassiz, 1863) (Echinodermata: Echinoidea) en Punta San Miguel, Ensenada, B.C. Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Baja California. 40 pp.
- Tegner, M. J. (1980). Multispecies Considerations of Resource Management in Southern California Kelp Beds. Canadian Tech. Rep. of Fisheries and Aquatic Sci, 954:125-143.
- Tegner, M. J. (1989). The Feasibility of Enhancing Red Sea Urchin, *Strongylocentrotus franciscanus*, Stocks in California: An Analysis of the Options. Mar. Fish. Rev. NOAA, 51(2): 1-22.

- Tegner, M. J. and Dayton, P. K. (1977). Sea Urchin Recruitment Patterns and Implications of Commercial Fishing. *Science*, 196(4287):324-326.
- Tegner, M. J. and Dayton, P. K. (1981). Population Structure, Recruitment and Mortality of Two Sea Urchins: *Strongylocentrotus franciscanus* and *S. purpuratus*, in a Kelp Forest near San Diego, California. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 5(3):255-268
- Thomas, G. (1993). Management of an Expanding Sea Urchin Fishery in British Columbia. *J. Shellfish. Res.*, 12(1):146.