

Puntos de referencia para la pesquería de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California, considerando aspectos biológico pesqueros y ambientales

Julio S. Palleiro-Nayar*, Ma. de Lourdes Salgado-Rogel* y Ma. del Carmen Jiménez-Quiroz**

Para que la pesquería del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* sea administrada adecuadamente y propiciar su sustentabilidad, se proponen varios puntos de referencia (PR) con base en variables biológicas (densidad poblacional y la estructura de tallas) y pesqueras (la mortalidad por pesca, la captura y el esfuerzo pesquero). Se analizaron los cambios inter-anales de la captura, asumiendo que éstos dependen del esfuerzo (que está en función de la disponibilidad del recurso, así como de la calidad y valor de las gónadas) y las condiciones ambientales. Se proponen los siguientes PR: 1) mantener la densidad mínima en dos adultos $\cdot m^{-2}$ para asegurar el éxito de la fecundación y la protección de los reclutas; 2) limitar la recolección de ejemplares de diámetro menor a 80 mm a un máximo de tolerancia de 5% por embarcación-día de trabajo; 3) mantener la tasa de mortalidad por pesca F entre 0.4 a 0.70 al año para propiciar la recuperación de las poblaciones explotadas; 4) evaluar estos criterios cada año, particularmente en años Niño cuando escasea el alimento; 5) incrementar la captura de erizo morado para disminuir la intensidad de la competencia con el erizo rojo, así como evitar el sobrepastoreo de macroalgas y las áreas de tapetes de erizo morado, recomendando mantener densidades de cuatro a seis erizos $\cdot m^{-2}$.

Palabras clave: Densidad mínima, mortalidad por pesca, variaciones ambientales, talla mínima de captura.

Reference points in the fishery of red sea urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) in Baja California, based on fishery biology and environmental aspects

To manage the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* fishery and propiciate sustainability, we suggest reference points (RP) based on biological analysis (population density and size structure) and fishing variables (fishing mortality, capture and fishing effort). Inter-annual changes of capture were analyzed assuming they depend on effort and environmental conditions. The RP proposed are: 1) maintain a minimum density of two adults $\cdot m^{-2}$ to ensure fertilization success and recruits protection; 2) limit the recollection of specimens with diameter of less than 80 mm to a maximum rate of 5% by boat-fishing day; 3) maintain the fishing mortality rate F between 0.4 and 0.70 per year, to ensure recuperations of exploited stocks; 4) assess these criteria every year, specially during El Niño years when food is scarce; 5) increase the capture of purple sea urchin to diminish its abundance and competition with red sea urchin, and avoid macroalgae over pasturing and purple sea urchin beds, by recommending a density of four to six sea urchins $\cdot m^{-2}$.

Key words: Minimum density, fishing mortality, environmental changes, minimum capture size.

Introducción

El erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (A. Agassiz, 1863) se distribuye desde Alaska hasta Isla Natividad, BCS (Mottet, 1976; Palleiro-Na-

yar, 2009). Habita en la zona submareal, sobre sustrato rocoso, entre tres y 50 m de profundidad, donde se alimenta principalmente de macroalgas, en particular de *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) (C. Agardh 1820); comparte el hábitat con el erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson, 1857), con el que compete por espacio y alimento (Tegner, 2001). El erizo rojo desova durante el invierno y parte de la primavera; las larvas permanecen en la columna de agua entre cuatro y ocho semanas y se alimentan de fitoplancton antes de asentarse; crece durante

* Centro Regional de Investigación Pesquera - Ensenada, Instituto Nacional de Pesca, SAGARPA. Apdo. Postal 187 Ensenada, Baja California, México. CP 22760. juliopalleiro@yahoo.com.mx

** Centro Regional de Investigación Pesquera - Manzanillo, Instituto Nacional de Pesca, SAGARPA. Playa Ventanas s/n; Manzanillo, Colima, 28200 México.

toda su vida y puede llegar a vivir 100 años (Ebert y Southon, 2003), por lo que es uno de los invertebrados más longevos, que aparentemente no envejece, ya que la capacidad reproductiva de los individuos más viejos es similar a la de cualquier erizo adulto (Ebert, 2008), y alcanzan la madurez sexual alrededor de los dos a tres años de edad (Tegner, 2001).

La abundancia del erizo depende en gran medida de las condiciones ambientales, lo que incluye las interacciones biológicas (competencia y depredación), la disponibilidad de alimento y las características del hábitat (Botsford *et al.*, 2004). Estas poblaciones son denso-dependientes ya que el éxito de la fecundación está supeditado a la densidad y la distribución de los ejemplares maduros (Levitan *et al.*, 1992; Lundquist, 2000). Los erizos jóvenes se protegen de los depredadores colocándose bajo las espinas de los adultos (Tegner y Dayton, 1977; Breen *et al.*, 1985; Nishizaki y Ackerman, 2005).

En México, el erizo rojo se distribuye en parches por la costa noroccidental de la península de Baja California, desde la frontera de EU hasta Isla Natividad (Palleiro-Nayar *et al.*, 2006); esta área es muy productiva gracias a la influencia del Sistema de la Corriente de California y a las surgencias que se producen durante invierno y primavera (Lynn y Stimpson, 1987; Durazo y Baumgartner, 2002). En ese periodo, la fuerza del viento propicia el afloramiento de agua rica en nutrientes y el incremento de la productividad primaria (Parés-Sierra *et al.*, 1997; Casas-Valdez *et al.*, 2003). Sin embargo, las condiciones ambientales pueden cambiar debido a la influencia de los eventos El Niño (cálido) y La Niña (frío); así, por ejemplo, durante los Niños intensos de 1981-1982 y 1997-1998, disminuyó la intensidad de las surgencias, el ingreso de nutrientes, por tanto bajó la productividad del fitoplancton y de los mantos de *M. pyrifera*, mientras que ocurrió lo contrario cuando se presentaron los periodos fríos (La Niña) de 1988-1989 y 1999-2001 (Casas-Valdez *et al.*, 2003; Hernández de la Torre *et al.*, 2004). A su vez, la abundancia de macroalgas incide en la alimentación de los erizos y, consecuentemente, en el tamaño y la calidad de las gónadas (Tegner, 2001).

El objetivo de la pesca comercial de erizo rojo, a diferencia de la de otros recursos, son los

órganos reproductivos, que se exportan a Japón, donde son muy apreciados (Andrew *et al.*, 2002; Botsford *et al.*, 2004). En México, la pesquería inició en 1972, pero fue hasta 1987 cuando se establecieron las primeras medidas de manejo, como la talla mínima legal (TML) de 80 mm de diámetro de caparazón y el periodo de veda entre el primero de marzo y el 30 de junio de cada año (Palleiro-Nayar *et al.*, 1988). En 1993 se decretó la NOM-07-PESC-1993 (DOF, 1993) para regular la pesca del erizo y, además de la TML, describe las características de las unidades de pesca autorizadas, el método de extracción, la manera como debe entregarse el producto en las plantas de procesamiento y establece la obligación de registrar la información en una bitácora de pesca. Se han propuesto otras disposiciones, como una cuota máxima de captura de 1989 a 2002 (siendo rebasada en varios años), rotación de áreas de cosecha y no incorporar más equipos o buzos a esta pesquería (Salgado-Rogel y Palleiro-Nayar, 2008). Sin embargo, aun con estas medidas, el recurso ha estado en deterioro desde hace varios años (Canedo-López *et al.*, 1999; Salgado-Rogel y Palleiro-Nayar, 2008; Jurado-Molina *et al.*, 2009), ya que desde 1987, la biomasa estimada ha sido inferior al valor de máxima productividad $B_0/2$, donde B_0 es la biomasa virgen (Zárate-Becerra *et al.*, 2001).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) recomienda establecer puntos de referencia (PR) para el manejo de las pesquerías (FAO, 2009) y medirlos periódicamente para evaluar el cumplimiento de las medidas administrativas y modificarlas, de ser necesario. Según Caddy y Mahon (1996) el punto de referencia “es un valor convencional derivado del análisis técnico, que representa el estado de la pesquería, cuyas características se cree que puedan ser útiles para la ordenación de la unidad poblacional”. Según estos autores, las variables de referencia (VR) básicas son la biomasa (B) y la mortalidad por pesca (F); pero también se pueden usar: el esfuerzo pesquero, a través de su relación con F y con las tasas de explotación, e indicadores biológicos, como la estructura de tallas y la fecundidad; aunque estos últimos pueden ser difíciles de cuantificar (Caddy, 2002, 2004).

Los puntos de referencia pueden ser límite (PRL) y objetivo¹ (PRO), los primeros tienen el propósito de asegurar la viabilidad de las poblaciones y los segundos, la sustentabilidad de las pesquerías. Los PRO establecidos en EUA para la pesquería de erizo se basaron en la biomasa estimada mediante modelos de análisis de rendimiento excedente o logísticos, mientras que para instrumentar los PRL se utilizó la tasa de mortalidad por pesca máxima permisible y el rendimiento máximo sostenible (Botsford *et al.*, 2004). En México, la primera cuota de captura se propuso para regular la temporada de pesca 1989-1990 (Palleiro-Nayar, 2004), cuando se estableció que la captura no debería exceder las 3 500 t; sin embargo, en el año 2002, después de un periodo de muy baja producción debido a la mala calidad y escasez del producto, se determinó que ésta no debería rebasar 1 500 t anuales. Cabe señalar que en el periodo de 1989 a 2002 se rebasaron las cuotas de captura recomendadas por el Instituto Nacional de la Pesca en cuatro temporadas de captura (Palleiro-Nayar, 2004). En 2004 se determinó que la pesquería de erizo rojo en Baja California se encontraba sobre-explotada utilizando el criterio del Servicio Nacional de Pesquerías Marinas de Estados Unidos (NMFS² según sus siglas en inglés), ya que se estimó la biomasa de erizo rojo en 2004 representaba 17% de la existente en 1972, considerada la B_0 o biomasa inicial de referencia (Jurado-Molina *et al.*, 2009).

El objetivo de este trabajo es proponer como PR algunas medidas obtenidas en éste y otros trabajos de los autores, a partir del análisis de variables de referencia biológicas (VRB) y pesqueras (VRP) así como de la relación de éstas con el ambiente, que permitan recuperar y hacer sustentable la pesquería de erizo rojo *S. franciscanus* en Baja California.

Materiales y métodos

La extracción de erizo rojo en la costa occidental de Baja California se desarrolla desde las Islas Coronado (32.5° N-117.7° O) hasta Punta Blanca (29° N-114.6° O). Esta área ha sido dividida en cuatro zonas administrativas pesqueras (ZAP) para su manejo (Fig. 1). La región es influenciada por el Sistema de la Corriente de California que incluye la Corriente de California, la Contra Corriente Costera de California y la Corriente Subsuperficial (Bakun, 1996). Entre 1972 y 2010, las condiciones correspondientes a El Niño han sido más frecuentes que las de La Niña y las normales, en particular en la década de los años noventa (Tabla 1). El efecto de El Niño en la región es casi inmediato debido a teleconexiones atmosféricas, aunadas a la advección oceánica desde el ecuador (e.g. 1997-1998); esta última situación es más común durante los eventos más intensos (Todd *et al.*, 2011).

Tabla 1

Clasificación de los años por la intensidad de El Niño y La Niña según el criterio de Western Regional Climate Center³ de la NOAA, basado en los valores del Índice de la Oscilación del Sur (SOI⁴)

<i>El Niño</i>		<i>La Niña</i>		<i>Normal</i>
<i>Intenso</i>	<i>Moderado</i>	<i>Moderado</i>	<i>Intenso</i>	
≤ -1.00	≤ -0.50	$\geq +0.50$	$\geq +1.00$	-0.5 y +0.50
1977-78	1976-77	1971-72	1973-74	1978, 1979, 1980, 1981
1982-83	1991-92	1974-75	1975-76	1983, 1984, 1985, 1986
1987-88	1992-93	2000-01	1988-89	1989, 1990
1993-94	2002-03	2007-08	1998-99	1995, 1996, 2001, 2003
1994-95	2004-05	2008-09		
1997-98	2006-07			
	2009-10			

1. El punto de referencia objetivo indica un estado de una pesquería y/o un recurso que se considera deseable y en el cual debe adoptarse una acción de ordenación, ya sea durante el desarrollo o recuperación de la población. El punto de referencia límite indica un estado de una pesquería y/o recurso que se considera indeseable y que la acción de ordenación debe evitar (Caddy y Mahon, 1996). Estos últimos se refieren a condiciones relacionadas con la persistencia de la población (Botsford *et al.*, 2004).
2. El NMFS considera una pesquería sobre-explotada cuando la biomasa remanente es inferior a 25% de la B_0 .

3. Western Regional Climate Center. 2215 Raggio Parkway Reno, NV; <http://www.wrcc.dri.edu/ens/ensodef.html>
4. El SOI es calculado con el método de Ropelewski y Jones (1987) por la Climatic Research Unit (UEA Norwich; School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich NR4 7TJ, UK; <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/soi.htm>).

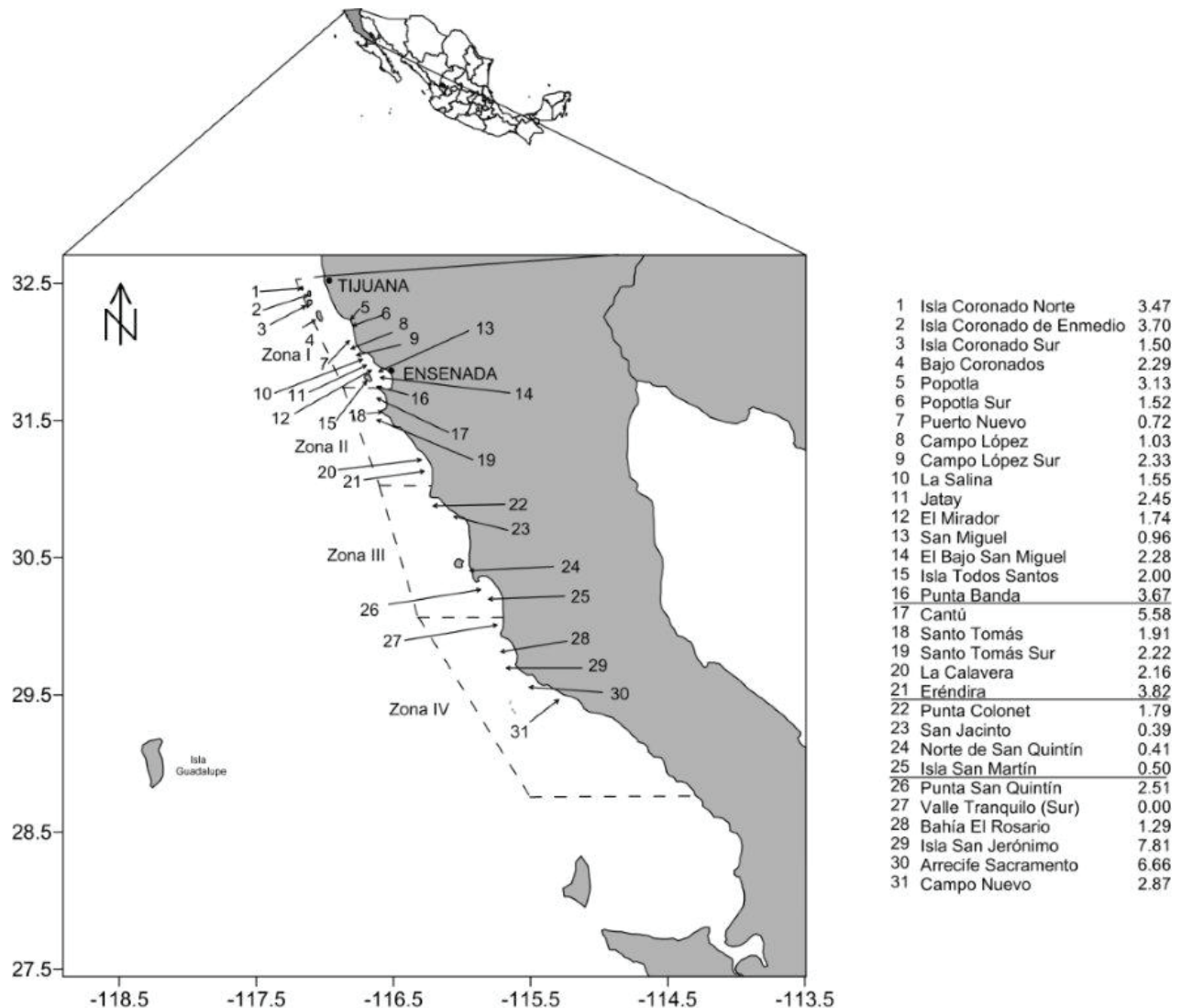


Fig. 1. Área de extracción de erizo rojo en Baja California y zonas administrativas de pesca. Se señala la ubicación de los sitios de muestreo con la densidad de erizo rojo estimada.

Las variables biológico-pesqueras analizadas fueron: la estructura de tallas, la densidad poblacional, la mortalidad por pesca y la tendencia de la captura y el esfuerzo en el lapso 1988-2008. Con el propósito de contar con elementos que permitan establecer criterios para determinar la periodicidad con que se deben revisar los PR y puesto que la sobrevivencia de la población está estrechamente relacionada con las relaciones ecológicas de su entorno (competencia y depredación), así como con las condiciones ambientales de su hábitat; se analizaron también las densidades de los erizos rojo y morado, la relación de las variaciones interanuales de la captura del

erizo rojo con el esfuerzo pesquero, la temperatura del agua, la ocurrencia de los eventos El Niño-La Niña y la producción de *M. pyrifera*, a partir del supuesto de que la abundancia de esta especie está directamente relacionada con la disponibilidad de alimento para los erizos y otros organismos bentónicos.

Variables de referencia biológicas. La densidad poblacional de los erizos rojo y morado se estimó en 31 zonas de pesca (ZP) entre los meses de abril y junio de 2006, durante la temporada de veda. La mayoría de las ZP analizadas se encuentran en la ZAP I (45.1%), seguida en orden decreciente por la II (22.5%), la III (19.3%) y la

IV (12%). El tipo de muestreo fue estratificado; las unidades de muestreo fueron transectos en banda de 10 m·2 m, en los que se recolectaron de manera manual todos los organismos localizados a profundidades de entre 10 m y 25 m. En cada banco, dependiendo de su extensión, se utilizaron de 20 a 30 transectos. Por otro lado, se comparó la densidad de los erizos rojo y morado en cada localidad con una prueba *t-Student*.

La estructura de tallas de los erizos capturados se determinó mediante muestreos realizados en diez plantas de procesamiento ubicadas en Ensenada, San Quintín y El Rosario, BC. En cada planta se midieron alrededor de 250 erizos por día, dos o tres veces al mes, entre julio y diciembre de cada año. Los individuos fueron tomados de la mesa donde se mantienen antes de ser eviscerados. La estructura de tallas de los erizos recogidos en el lapso 2000-2007 se describió mediante histogramas con intervalos de clase de 10 mm. Por otro lado, para determinar el impacto de la cosecha de jóvenes en la producción se cuantificó el porcentaje de ejemplares cuya talla era menor a la legal (80 mm) entre 1984 y 2006.

Variables de referencia pesqueras. Los datos de captura (C) del lapso 1972-2007, fueron extraídos de los avisos de arribo entregados por los productores de erizo rojo a la Subdelegación de Pesca de la SAGARPA en Baja California. La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se obtuvo de las bitácoras de pesca que los permisionarios entregan en las distintas oficinas de Pesca del estado. La unidad de esfuerzo fueron los días de trabajo, conocidos localmente como “mareas”, que efectuó toda la flota en cada temporada; aunque, a diferencia de la captura, esta variable se registra desde 1988 (año en que se inició la entrega de bitácora de pesca).

La mortalidad total (Z) se estimó mediante el método de la curva de captura linealizada, basado en la composición por edad (Sparre y Venema, 1997). Los datos de talla registrados durante los muestreos en las plantas procesadoras entre 1994 y 2007 se analizaron con el programa FISAT II (FAO, 2002), al cual también se le proporcionaron los valores de la ecuación de crecimiento de von Bertalanffy ($K = 0.189$; $L_{\infty} = 118.98$ mm) estimados por Palleiro-Nayar (2009). F es la diferencia entre la mortalidad total (z) y la natural (M), y esta última (0.25 año^{-1}) se tomó de

Jiménez-Quiroz *et al.* (2010⁵). Por otro lado, el porcentaje al que disminuyó la abundancia de la población (R) como resultado de la pesca comercial se determinó con la ecuación:

$$R(\%) = (1 - e^{-F} / e^{-F}) \cdot 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: $e = 2.718281$

La influencia del medio en las variaciones de la biomasa durante el periodo 1988-2004⁶, se estimó utilizando como indicador la diferencia (expresada en porcentaje) entre los cambios interanuales de la captura (TC):

$$TC = ((C_{t+1} / C_t) - 1) \cdot 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde: C_t = cantidad registrada en la temporada de pesca t y C_{t+1} , en el siguiente año.

Posteriormente se aplicaron regresiones múltiples entre TC y las variables independientes, con y sin desfase de uno y dos años, para determinar si el efecto es retrasado; se escogió este intervalo considerando que a los dos años se alcanza la madurez sexual. Las variables independientes fueron biológicas, ambientales y pesqueras; las primeras fueron el porcentaje que representaron los ejemplares cuyo diámetro fue menor al legal (% TML), al que se aplicó una transformación arcoseno (Zar, 1974) y las anomalías en la cosecha anual de *M. pyrifera*, considerando como normal el promedio del periodo 1959-2004⁷ (28 037 t). Las variables abióticas fueron los promedios estacionales de la temperatura superficial marina (TSM) obtenida de imágenes satelitales y la estimada *in situ* en el banco de Punta Banda (TPB), así como el Índice Multivariado del Niño (MEI, siglas por su nombre en inglés); en tanto que la variable pesquera fue el esfuerzo.

5. JIMÉNEZ-QUIROZ MC, JS Palleiro-Nayar y ML Salgado-Rogel. 2010. Estimación de la temperatura del hábitat del erizo rojo a partir de datos satelitales para calcular la mortalidad natural. *V Foro Científico de Pesca Ribereña*. 7 a 9 de septiembre de 2010. Veracruz, Ver.
6. Este intervalo estuvo determinado por los datos disponibles: la temperatura medida con sensores satelitales y almacenada en bases de datos de acceso público, corresponde al periodo 1985-2007; la cosecha de *Macrocystis* sp. se desarrolló entre 1959 y 2004, en tanto que el esfuerzo pesquero empezó a registrarse hasta 1988.
7. Datos de la Subdelegación de Pesca en Baja California.

Tabla 2
Variables independientes abióticas utilizadas en las regresiones múltiples aplicadas a la tendencia de la captura

<i>Variables</i>	<i>Periodicidad</i>	<i>Fuente</i>
Temperatura superficial marina de la ZAP IV (TSM)	Promedios estacionales calculados según la división climática clásica. Intervalo: 1985-2007	Imágenes captadas por el sensor AVHRR-NOAA y extraídas de la base de datos pública PO.DAAC (Physical Oceanography. Distributed Active Archive Center) de la NASA a través de la interfase POET*
Temperatura promedio estacional en el banco de Punta Banda (TPB)	Promedios estacionales estimados a partir de la temperatura superficial marina de la ZAP IV y datos <i>in situ</i> obtenidos con un sensor de temperatura HOBO Pro v2 Water temperatura data logger U22-001. Intervalo: 1985-2007	Temp PB = $4.803010 + (0.477818 \text{ Temp AVHRR})$, $r = 0.79$, $F_{(1,24)} = 42.34$ $p < 0.01$, tomado de Jiménez-Quiroz <i>et al.</i> (2010 ⁵)
Índice Multivariado de El Niño	Promedios estacionales	Earth System Research Laboratory-Physical Sciences Division**

*PO.DAAC Ocean ESIP Tool: <http://poet.jpl.nasa.gov/>

**http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/enso.mei_index.html

Las características de los datos y sus fuentes se muestran en la *tabla 2*.

Resultados

Variables de referencia biológicas. La densidad de erizo rojo (Tabla 3; Fig. 1) varió entre 0.2 erizos·m² en Valle Tranquilo (ZAP III) y 8.5 erizos·m² en el Arrecife Sacramento (ZAP IV). En seis bancos se registró menos de un erizo por unidad de área, la cantidad mínima aceptable para asegurar el éxito reproductivo (Levitán *et al.*, 1992), de los cuales dos están ubicados en la ZAP I y cuatro en la ZAP III. En contraste, en tres localidades (Cantú, Isla San Jerónimo y Arrecife Sacramento) se cuantificaron más de cinco animales por unidad de área.

Se considera que dos erizos rojos por metro cuadrado es una medida precautoria para garantizar el éxito de la fecundación y el reclutamiento de la población de este organismo (Palleiro-Nayar *et al.*, 2008), por lo que se puso especial atención en las 16 ZP donde hubo esa densidad, la mayoría de ellas en las ZAP II (85%) y IV (75%), lo que se reflejó en la densidad promedio ($\pm$ desv.est.) en ambas (Tabla 3). En contraste, en las ZAP I y III se registró esa cantidad en 42% y 16% de las ZP, respectivamente, y, por otra parte, se encontraron seis bancos con menos de un ejemplar por unidad de área.

La densidad de erizo morado (Tabla 3) fue de entre 0.05 erizos·m² en San Miguel y 12.87

erizos·m² en isla Coronado, ambos sitios ubicados en la ZAP I, en donde se registraron los valores más altos (>5 erizos·m²). Por otro lado, como en el caso del erizo rojo, se obtuvieron más de dos ejemplares por m² en 51% de los bancos, particularmente en las ZAP I y IV donde ese porcentaje fue de 57 y 75, respectivamente; en comparación, en las ZAP II y III fue de 42 y 33 en cada una de ellas. Los resultados de la prueba de *t-Student* indican que el erizo morado fue más abundante que el rojo en nueve sitios, siete de los cuales se encuentran en la ZAP I, donde la proporción erizo rojo (ER): erizo morado (EM) varió de 1ER:0.05EM a 1ER:8.58EM (Tabla 3); y la relación más dispar (1ER:14.38EM) se encontró en punta San Quintín (ZAP III).

Estos resultados sugieren que la competencia por espacio y alimento entre los ejemplares de las dos especies debe ser intensa en las ZAP I y IV, aunque hay un elevado porcentaje de bancos en esta última localidad con más de dos ejemplares de erizo rojo por unidad de área.

Por otro lado, en seis localidades se detectaron más de dos erizos rojos y menos de un erizo morado por unidad de área (Bajo Coronado, el Bajo San Miguel, Punta Banda, Sto. Tomás Sur, La Calavera y Campo Nuevo), lo que indica que en esos bancos la presión competitiva debe ser menor.

La cantidad de erizos rojos medidos en las plantas de proceso, varió entre 14 259 y 30 578 individuos por año, de acuerdo con la disponibilidad del personal encargado del muestreo. Entre

los años 2000 y 2007, el intervalo de tallas fue de 40 mm a 140 mm; sin embargo, en los primeros cuatro años hubo mayor cantidad de organismos de talla entre 60 mm a 80 mm y para 2005 a 2007, predominaron los erizos con tallas de 80 mm a 100 mm (Fig. 2).

En cuanto al porcentaje de organismos menores de 80 mm (talla legal) en el intervalo 1984-

2006, el porcentaje promedio ($\pm$ desv. est.) de la muestra estuvo conformado por animales de talla inferior a la legal, de $27.70 \pm 13.10\%$, aunque hubo amplias variaciones interanuales. En los periodos 1988-1991 y 1996-2001, esa proporción estuvo por arriba de la media, en tanto que entre 1992 y 1995, y después de 2002, ese porcentaje estuvo por debajo de ese parámetro (Fig. 3).

Tabla 3

Densidad (erizos·m²) de erizo rojo (ER) y morado (EM) registrada en cada localidad durante los muestreos realizados en 2006. En negritas, la densidades de erizo rojo considerada crítica (<1 erizo·m²)

<i>Zona administrativa pesquera</i>	<i>Localidad</i>	<i>Erizo rojo</i>	<i>Erizo morado</i>	<i>er:em</i>
ZONA I	Isla Coronado Norte	3.47	9.10*	1:2.62
	Isla Coronado de en Medio	3.70	7.33*	1:1.98
	Isla Coronado Sur	1.50	12.87*	1:8.58
	Bajo Coronado	2.29	0.94	1:0.41
	Popotla	3.13	7.03*	1:2.25
	Popotla Sur	1.52	2.61	1:1.72
	Puerto Nuevo	0.72	0.29	1:0.40
	Campo López	1.71	0.14	1:0.08
	Campo López Sur	1.40	0.12	1:0.09
	La Salina	1.55	5.45*	1:3.52
	Jatay	2.20	6.51*	1:2.96
	El Mirador	1.74	8.19*	1:4.71
	San Miguel	0.96	0.05	1:0.05
	El Bajo San Miguel	2.28	0.93	1:0.41
	Prom. ($\pm$ desv.est.)	2.01 $\pm$ 0.9	4.40 $\pm$ 4.19	
ZONA II	Isla Todos Santos	2.01	3.60	1:1.79
	Punta Banda	3.67	0.12*	1:0.03
	Cantú	5.58	11.04*	1:1.98
	Santo Tomás	1.91	0.13*	1:0.07
	Santo Tomás Sur	2.22	0.14*	1:0.06
	La Calavera	2.16	0.76	1:0.35
	Eréndira	3.82	3.78	1:0.99
	Prom. ($\pm$ desv.est.)	3.05 $\pm$ 1.36	2.80 $\pm$ 3.98	
ZONA III	Punta Colonet	0.39	0.00	1:0.00
	San Jacinto	1.79	0.47	1:0.26
	Norte de San Quintín	0.41	0.18	1:0.44
	Punta San Quintín	0.62	8.92*	1:14.39
	Isla San Martín	2.51	4.36	1:1.74
	Valle Tranquilo (Sur)	0.20	0.00	1:0.00
	Prom. ($\pm$ desv.est.)	0.99 $\pm$ 0.93	2.32 $\pm$ 3.64	
ZONA IV	Bahía El Rosario	1.29	2.93	1:2.27
	Isla San Jerónimo	7.81	6.05	1:0.77
	Arrecife Sacramento	8.50	8.27	1:0.97
	Campo Nuevo	2.87	0.54*	1:0.19
	Prom. ($\pm$ desv.est.)	5.12 $\pm$ 3.57	4.45 $\pm$ 3.40	

*Diferencias significativas entre la densidad de erizo rojo y morado ($p < 0.05$).

Los valores extremos se detectaron en el año 2000, cuando los erizos pequeños conformaron alrededor de la mitad de la muestra ($n = 14\ 861$). A partir de 2002 se han capturado menos erizos de tallas sublegales y se observaron pequeños aumentos en la captura.

Historia de la captura y variables de referencia pesqueras. La pesca comercial de erizo rojo inició en 1972 y se alcanzó la primera captura récord siete años después, cuando se registraron 5 700 t de peso vivo (Fig. 4). La producción disminuyó significativamente en los siguientes tres años (1980-1983), ya que se obtuvieron alre-

dedor de mil toneladas por temporada. En 1986 se consiguió la producción más alta (8 493 t) en la historia de la pesquería, a la que siguieron un decremento importante (-53%) y un nuevo aumento en 1989 (5 536 t); a partir de ese año, la captura fue decreciendo hasta 1998 (806 t), en tanto que a partir del año 2000 ha fluctuado alrededor de 1 750 toneladas.

La tendencia del esfuerzo de pesca (mareas o días de pesca) en el periodo analizado fue negativa debido a que en 1989 se invirtió más esfuerzo (19 235 mareas) y trabajaron más hombres (320 buzos) que en 2008, cuando el esfuerzo fue

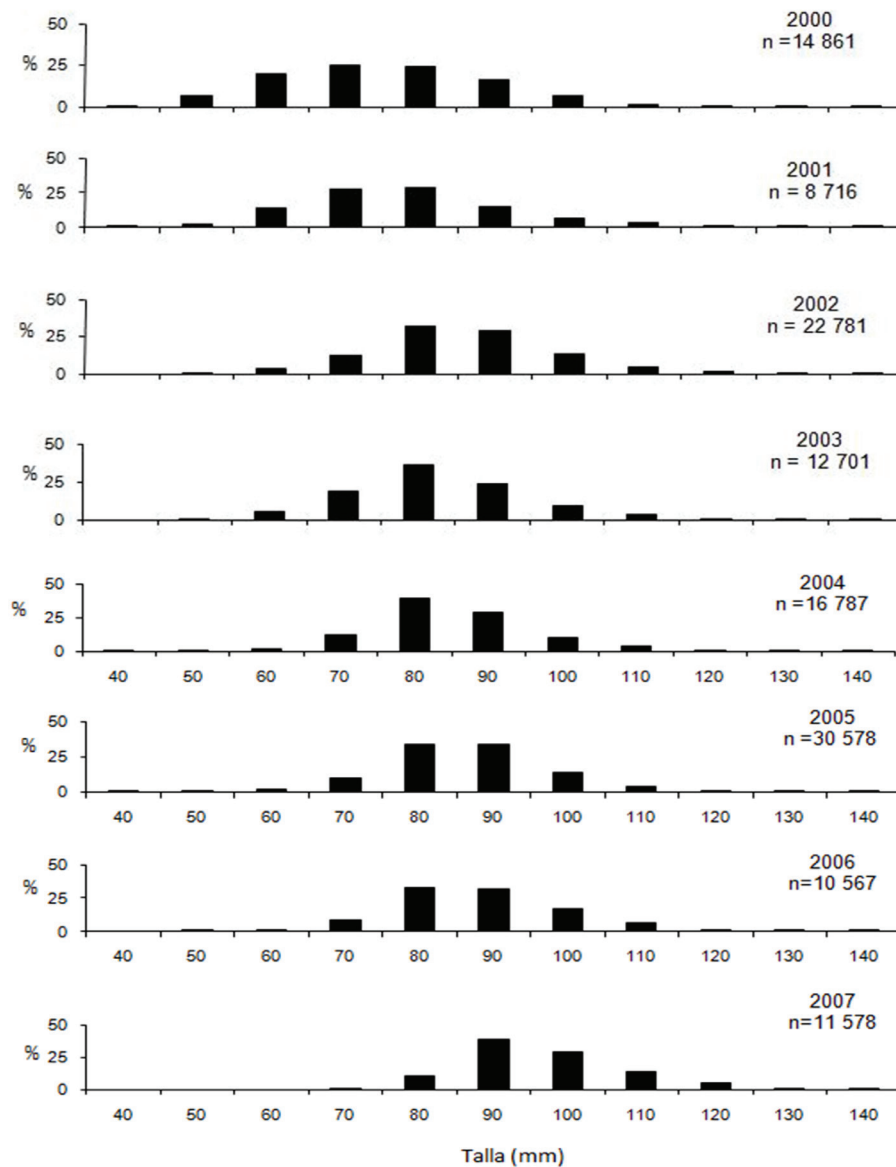


Fig. 2. Variaciones en la estructura de tallas de erizo rojo muestreado en la pesca comercial de Baja California en el periodo 2000-2007.

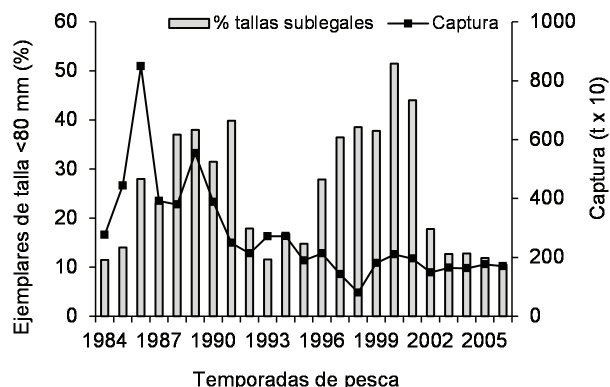


Fig. 3. Variaciones de la captura y del porcentaje de erizos rojos cuya talla fue inferior a 80 mm de diámetro de caparazón.

de 12 304 mareas y hubo 220 buzos. El esfuerzo promedio fue de $15\,377 \pm 2\,860$ mareas (Fig. 4a); en 1989 y los intervalos 1992-1994 y 1999-2002 se superó ese valor e incluso fue mayor que ese parámetro más la primera desviación estándar (1989 y 1992-1994), en tanto que en 1998 y a partir de 2004 disminuyó sensiblemente. El esfuerzo

también ha estado relacionado con la presencia de los eventos El Niño y La Niña, ya que fue más grande cuando se presentaron Niñas (MEI < 1) y Niños moderados (MEI: 1 a 1.5), que en los años normales y durante los Niños de 1991, 1997 y 2004, y La Niña de 1998, que fueron particularmente intensos (Fig. 4a).

Las variaciones de la CPUE han sido similares a las de la captura (Fig. 4b), aunque con algunas pequeñas diferencias y desfases. En 1989 se alcanzó el valor más alto ($287.80\text{ kg}\cdot\text{día}^{-1}$) y a partir de ese año disminuyó sustancialmente hasta 2002, cuando fue de sólo $87\text{ kg}\cdot\text{día}^{-1}$. Por otro lado, la CPUE fue más baja en 1999 (91.51) que en 1998 (97.41), a pesar de que el valor de la captura se duplicó entre ellos; en los años siguientes, la CPUE se incrementó hasta alcanzar $174\text{ kg}\cdot\text{día}^{-1}$ en 2008 (Fig. 4b).

La tasa instantánea anual de mortalidad por pesca en el lapso 1994-2008 promedió ($\pm$ desv. est.) 0.70 ± 0.19 , en tanto que los valores extremos se registraron en 1996 (0.40) y 1999 (1.2). A partir del año 2000, este parámetro fluctuó

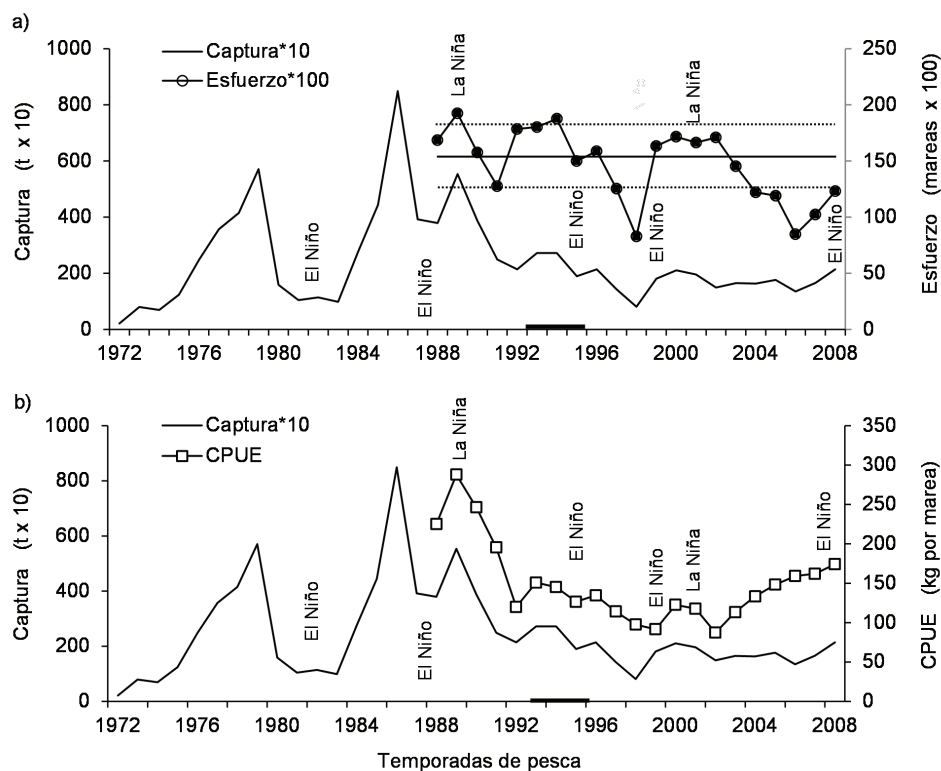


Fig. 4. Variaciones de la captura, esfuerzo a) y CPUE b) de la pesquería de erizo rojo en Baja California. Se incluyen los años en que se presentó El Niño (La Niña). El intervalo 1991-1995 fue muy cálido por lo que se destaca con la línea gruesa sobre el eje horizontal. En la gráfica a) se muestra el esfuerzo promedio $\pm$ su desviación estándar ($15\,377 \pm 2\,860.36$ mareas; $n = 21$ años).

entre 0.5 y 0.76. El porcentaje de reducción de la abundancia (R) derivada de la mortalidad por pesca presentó variaciones similares en los años analizados, con un promedio de 50.46 ± 9.01 por ciento.

Por lo que se considera que la mortalidad por pesca anual debería estar dentro del intervalo de 0.40 a 0.7 que corresponde a la cantidad más baja estimada en 1996 y al promedio de la mortalidad estimada de 1994 a 2008.

Variaciones interanuales de la captura y su relación con el ambiente. El factor cambios interanuales de la captura (TC) varió ampliamente en las temporadas de pesca del periodo 1981-2002; los mayores incrementos se presentaron en el primer lustro y el último año de la década de los ochenta, así como en 1999 (Fig. 5a); aunque los más conspicuos ocurrieron en 1984 y 1999, cuando la captura superó en 100% a la del año previo. En contraste, en 1987, 1991 y 1998 las diferencias fueron negativas (-40 a -60%). A partir de 2003, la TC ha variado entre 8.4 y -3.6 por ciento (Fig. 5a).

Puesto que se asumió que TC representaba los cambios determinados por las fluctuaciones en la población, los resultados de la regresión múltiple aplicada a los valores del intervalo 1986-2004 sin desfase, indicaron que cuando se presenta El Niño en primavera y la temperatu-

ra *in situ* en Punta Banda es elevada en otoño, disminuye significativamente la abundancia del recurso, en tanto que ocurre lo contrario con la temperatura de Punta Banda (TPB) del verano, aunque esta última tiene menos efecto en la TC ($t = -1.81$, $p = 0.14$). El coeficiente de determinación indica que poco menos de la mitad de la varianza se explica por estas variables (Tabla 4a). Esta situación fue evidente con las elevadas TC registradas durante las etapas finales de las Niñas de 1999, 1989 y 1985, mientras que ocurrió lo contrario durante los Niños de 1983, 1992, 1997 y 1998.

El coeficiente de determinación fue muy elevado cuando se desfasaron los datos un año (Tabla 4a) y, según la secuencia en que se incorporaron las variables durante la regresión por pasos (Tabla 4b), y, según la secuencia en que se incorporaron las variables durante la regresión por pasos, ~92% de la varianza de la TC está relacionada con el MEI en invierno (+), otoño (-) y primavera (+) en orden de importancia, esto es, con la presencia de El Niño (La Niña), así como con las anomalías de la cosecha de *M. pyrifera* (-). En tanto que la TSM de primavera y la TPB en invierno y verano fueron menos significativas y estuvieron correlacionadas con el MEI (Fig. 5b y 5c). El porcentaje de ejemplares capturados cuya talla fue inferior a la legal, aportó una

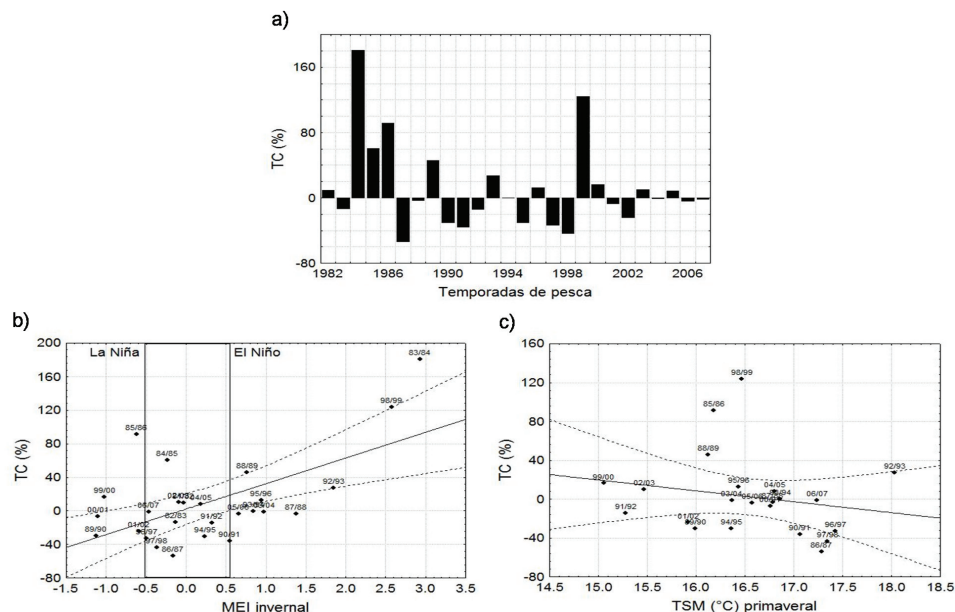


Fig. 5. Cambios interanuales de la captura (TC). Relaciones con las variables más importantes de la regresión múltiple.

fracción muy pequeña al coeficiente de determinación, en tanto que el esfuerzo no fue significativo por lo que no se incluyó en la ecuación final.

Discusión

Las poblaciones de erizo rojo son muy sensibles a la pesca debido a que el objetivo de la actividad son las gónadas, ejerciendo mayor esfuerzo pesquero antes de que ocurra el desove, por lo que no es posible instrumentar una veda reproductiva como en la mayoría de los recursos pesqueros (Palleiro-Nayar, 2004) y otro factor que disminuye su abundancia es su carácter denso-

dependiente que afecta las tasas de fecundación y reclutamiento, así como la estrecha relación que mantienen con el ambiente en cuanto a la dispersión de sus larvas y la disponibilidad de alimento (Tegner, 2001).

La historia de la pesquería de erizo rojo de BC, puede dividirse en cuatro etapas, definidas de manera arbitraria por las variaciones de la captura, la ocurrencia de eventos climáticos y la instrumentación de medidas regulatorias.

La primera fase podría abarcar entre el inicio de la pesca en 1972 y 1983; en este intervalo se alcanzó la primera captura récord en 1979, seguida por un decremento de la producción. Las pequeñas cantidades registradas en 1983

Tabla 4

Ecuaciones de regresión múltiple aplicadas a las variaciones interanuales de la captura (TC) sin y con desfase de un año. a) Ecuaciones de regresión. b) Secuencia en que se incorporaron las variables en la regresión múltiple por pasos cuando se retrasó la TC un año

a) Ecuaciones de regresión múltiple

Retraso en TC	Ecuación	r^2	ANDEVA	Variables	Beta	t	P
0	TC _{t+1} = 72.013 - 27.795 MEI primavera -47.888 TPB otoño + 48.265 TPB verano	0.477	F _(3,15) = 4.57 p = 0.01822	Intercepto MEI primavera TPB otoño TPB verano	-0.51 -0.48 0.39	0.21 -2.56 -1.81 1.52	0.830 0.021 0.090 0.140
1	TC _{t+1} = 600.510 +4.29 MEI invierno -32.094 MEI otoño -0.0016 <i>Macrocystis</i> +50.587 MEI primavera -4.418 TSM primavera -23.036 TPB invierno -0.395% TML -17.166 TPB verano	0.983	F _(8,8) = 59.697 p<0.00000	Intercepto MEI invierno MEI otoño <i>Macrocystis</i> MEI primavera TSM primavera TPB invierno % TML TPB verano	0.10 -0.76 -0.52 1.02 -0.08 -0.32 -0.08 -0.16	3.57 0.90 -9.71 -7.19 7.70 -0.50 -3.05 -1.34 -1.00	0.007 0.390 <0.010 <0.010 <0.010 0.620 0.020 0.220 0.350

b) Desfase de un año

	Secuencia en que se incorporaron	r^2 múltiple	Cambio en r^2	F al incorporar la variable	p	Variables incluidas
MEI invierno	1	0.467	0.467	13.127	0.003	1
MEI otoño	2	0.720	0.253	12.640	0.003	2
<i>Macrocystis</i>	3	0.823	0.104	7.637	0.016	3
MEI primavera	4	0.916	0.092	13.173	0.003	4
TSM primavera	5	0.958	0.042	11.213	0.006	5
TPB invierno	6	0.978	0.020	9.252	0.012	6
% TML	7	0.981	0.003	1.509	0.250	7
TPB verano	8	0.984	0.002	1.002	0.346	8

estuvieron relacionadas con el evento de El Niño Oscilación del Sur (ENOS) de 1982-1983, que propició la disminución de la calidad de las gónadas por falta de alimento (Salgado-Rogel y Palleiro-Nayar, 2008).

En la segunda etapa (1984-1987), además de la recuperación de los volúmenes de captura (en 1986 se obtuvo la producción récord histórica), en 1987 se propusieron las primeras medidas regulatorias de la pesquería: TML de 80 mm y una época de veda (para evitar extraer organismos que ya desovaron y por tener poco peso de gónada aumentaban el número de erizos recolectados para obtener el mismo rendimiento). En este periodo la disminución abrupta de la captura en 1988 estuvo aparejada con la ocurrencia de un Niño moderado.

La tercera etapa puede establecerse entre 1989 y 1998, cuando disminuyeron tanto la captura como la CPUE, excepto por un pequeño aumento de la producción en 1989 y 1990, probablemente causado por el efecto positivo de La Niña en la productividad primaria y en la disponibilidad de macroalgas. Durante este periodo se capturó una gran cantidad de ejemplares jóvenes y, por otro lado, la temperatura del agua en general fue cálida como consecuencia de la presencia casi ininterrumpida de eventos El Niño entre 1991 y 1995, que culminó con el evento intenso de 1997-1998, considerado como el segundo en importancia en el siglo XX (Wolter y Timlin, 1998).

La última etapa inició en 1999; entre ese año y 2001 las capturas alcanzaron valores similares a las de 1996 (~2000 t), pero gran parte de la producción estuvo sustentada en ejemplares jóvenes de acuerdo con los muestreos de la captura comercial. La CPUE fue mínima en 2002, año a partir del cual se ha incrementado paulatinamente, pero no está relacionada con un aumento en la abundancia relativa del recurso, más bien es debido a un mayor tiempo de buceo (hasta el doble según lo mencionan los buzos comerciales), que no se toma en cuenta porque la unidad de esfuerzo establecida es un día de trabajo. Esto implica que los pescadores deben informar sobre el tiempo que invierten en la búsqueda y extracción del recurso para disponer de un mejor indicador de la CPUE.

En la cuarta etapa, la captura del erizo ha comenzado a recuperarse, por lo que se recomienda establecer puntos de referencia (PR) para asegurar la sobrevivencia de la población. En el caso del erizo rojo, la densidad de los adultos debe ser de, al menos, un ejemplar por metro cuadrado para asegurar la fertilización (Levitan *et al.*, 1992), ya que cuando es menor, como en Puerto Nuevo, San Miguel, Punta Colonet, San Quintín (Punta y norte) y Valle Tranquilo (sur), es muy probable que los logros de este proceso sean menores. Por otro lado, debido a que los erizos jóvenes se albergan debajo de las espinas de los adultos para evitar a los depredadores (Tegner, 2001; Nishizaki y Ackerman, 2005), es importante mantener una densidad mínima. En trabajos previos (Salgado-Rogel y Palleiro-Nayar, 2008) se mencionó que dos erizos por metro cuadrado es un valor adecuado para asegurar la fertilización y el reclutamiento. En la mayoría de los bancos analizados se registró al menos un individuo y más de dos en poco más de la mitad, e incluso en tres sitios se detectaron valores similares a los de algunas áreas de reserva de California (≥ 5 erizos·m²), lo que propicia la recuperación del recurso. Los bancos más depauperados se encuentran en las ZAP I y III, por lo que allí deben aplicarse medidas para revertir esta situación.

Otra VRB es la talla de los animales cuando alcanzan la madurez sexual por primera vez; en los erizos se ha determinado que esto ocurre cuando su diámetro se encuentra entre 55 mm y 60 mm, por lo que en 1987 se estableció la TML de 80 mm (DOF, 1993) para que los organismos recolectados hubieran desovado, al menos en dos ocasiones. En este sentido, la proporción de la captura conformada por erizos rojos menores que la TML podría considerarse como un indicador del efecto de la pesca en el potencial reproductivo de la población⁸. Los resultados del análisis de las variaciones de la captura sugieren que recolectar animales pequeños repercute de manera negativa

8. El éxito reproductivo se divide en dos componentes: potencial reproductivo y sobrevivencia de la descendencia hasta alcanzar la madurez. En pesquerías, la producción total de huevos del stock y el reclutamiento a la pesquería pueden considerarse como medidas de estos dos componentes (Lambert, 2008).

como en 2001 y 2002, después de seis temporadas (1996-2001) en que ese porcentaje se encontró entre 28% y 50% de tallas sublegales, la captura decayó abruptamente, quizá debido al efecto combinado de la alta intensidad de pesca y el impacto de las condiciones ambientales adversas producidas por El Niño de 1997-1998.

En contraste con la situación de la pesquería bajacaliforniana, donde el porcentaje promedio de ejemplares de talla inferior a la TML ha sido alto en casi todas los años muestreados en las plantas de proceso, en la pesquería de erizo rojo en el sur de California (donde la TML es de 83 mm) el porcentaje de tallas sublegales es menor a 5% desde 1988 que se estableció la TML (Kalvas *et al.*, 1997). Esto sugiere que es factible establecer ese porcentaje como PRO con el propósito de proteger a los erizos juveniles y a los adultos de tallas de entre 60 a 79 milímetros.

Si bien se puede suponer que el control de la densidad y la captura de organismos jóvenes realizados en años recientes favorece a la conservación del recurso, la población está sujeta a la creciente competencia del erizo morado debido a factores tales como: una alta tasa de reclutamiento, baja mortalidad por pesca, la disminución de la competencia del erizo rojo y de sus principales depredadores (langosta, cangrejos y estrellas de mar) por la pesca comercial (Palleiro-Nayar *et al.*, 2008). El erizo morado es más tolerante a las temperaturas elevadas y tiene un periodo larvario más corto (Workman, 1999), lo que le brinda ventajas competitivas sobre el erizo rojo.

Cabe señalar que, si bien la abundancia del erizo morado no es una variable de referencia biológica *per se*, se propone como tal para amortiguar el impacto de la competencia por espacio y alimento con el erizo rojo, debido a que estos animales pueden llegar a destruir las praderas de macroalgas cuando son muy abundantes, generando áreas donde sólo habita erizo morado conocidas como tapetes de erizo (*sea urchin barren grounds*) como los observados en Isla San Jerónimo en la bahía El Rosario, BC, por lo que mantener una densidad de entre cuatro a seis erizos morados por metro cuadrado evita esta situación (Palleiro-Nayar *et al.*, 2008). La captura del erizo morado en Baja California ha sido mínima porque la calidad de las gónadas es muy variable, en 1996 se alcanzó la producción máxima (814 t),

pero en años recientes disminuyó drásticamente, por lo que en 2009 sólo se recolectaron 101 t (Subdelegación de Pesca *com. pers.*⁹). La principal causa de que la gónada de erizo morado no tenga la calidad requerida para su comercialización es la alta densidad poblacional que disminuye la abundancia de las macroalgas (café, rojas y verdes), y los erizos tienden a alimentarse con algas coralinas y diatomeas bentónicas, las cuales no favorecen el crecimiento gonadal y/o le da la coloración oscura que no lo hace atractivo para su consumo (Palleiro-Nayar *et al.*, 2008).

El ambiente es otro factor que ha afectado a la pesquería a lo largo de su historia, particularmente los cambios que se producen como consecuencia de El Niño, tanto en la temperatura como en la disponibilidad del alimento, como puede inferirse del efecto de estos eventos en los mantos de *M. pyrifera* (Casas-Valdez *et al.*, 2003) y otras macroalgas, ya que el color y la textura de las gónadas de los erizos dependen de la calidad del alimento disponible. Por otra parte, en esos órganos se almacenan proteínas y carbohidratos cuando abunda el alimento (Mottet, 1976; Lawrence, 2001), por lo que en épocas de inanición se reabsorben para satisfacer los requerimientos metabólicos del organismo, como sucede durante eventos El Niño (Lawrence, 2001). En esas condiciones disminuye la captura de erizo porque la calidad de las gónadas es inadecuada comercialmente, como sucedió entre 1981 y 1983, así como en 1998 (Palleiro-Nayar, 2004; Salgado-Rogel y Palleiro-Nayar, 2008). Por otro lado, durante El Niño cambia la hidrodinámica (corrientes, surgencias, etc.), lo que puede alterar los patrones de dispersión de las larvas y disminuir el reclutamiento (Lundquist *et al.*, 2000).

Las diferencias de la captura entre años consecutivos indican que el efecto de las condiciones ambientales es muy importante y puede prolongarse más de una temporada por su impacto en el reclutamiento. La disminución abrupta registrada entre 1990 y 1998 fue favorecida por las condiciones cálidas asociadas con los Niños de 1992-1993 y 1997-1998, cuyo efecto puede percibirse

9. Datos proporcionados por la Subdelegación de Pesca de SAGARPA, BC. 15 Mayo 2010.

en la zona de estudio en un lapso muy corto debido a teleconexiones atmosféricas (Todd *et al.*, 2011). Durante esa década, considerada más caliente de lo normal (Karl *et al.*, 2008), disminuyó significativamente la producción de macroalgas y de fitoplancton (Casas-Valdez *et al.*, 2003; Hernández de la Torre *et al.*, 2004), lo que incrementó el estrés en la población de muchos organismos herbívoros.

El impacto de los cambios ambientales en la población indica que es necesario revisar los PR anualmente y que se deberían establecer programas de monitoreo de las variables abióticas (al menos de la temperatura), para que esta información aunada a la proveniente de otras instituciones (*e.g.* Climate Prediction Center del National Weather Service-NOAA¹⁰) sirva para ajustar las medidas administrativas en el corto plazo. Por otro lado, los efectos negativos o positivos de los eventos globales pueden prevalecer por uno o dos años más, por lo que este recurso, sensible al impacto del calentamiento global, requiere instrumentar los PR dentro en un plan de manejo pesquero para las dos especies de erizo en Baja California.

Conclusiones

La pesquería de erizo rojo *S. franciscanus* en Baja California requiere el establecimiento de PR adicionales a los instrumentados a finales de la década de 1990 para asegurar un manejo adecuado del recurso, conservando a la población en condiciones de sustentabilidad biológica y continuando la generación de empleos y divisas en el sector pesquero de Baja California. Por lo que se recomiendan los siguientes PRO:

- Mantener la densidad mínima en dos adultos por metro cuadrado en las áreas de extracción para asegurar el éxito de la fecundación y la protección de los reclutas. Esto implica realizar evaluaciones constantes y cerrar a la pesca áreas con densidades menores a ese valor.
- Establecer un porcentaje máximo de 5% de ejemplares cuya talla sea menor a la TML por embarcación-día de trabajo.
- Mantener la tasa de mortalidad por pesca anual entre 0.4 a 0.70, lo cual implica disminuir el esfuerzo.
- Incrementar la captura de erizo morado para reducir su incremento poblacional y disminuir la competencia por alimento con el erizo rojo, así como evitar el sobrepastoreo de macroalgas, proponiendo densidades de entre cuatro a seis erizos por metro cuadrado.

Literatura Citada

- ANDREW NL, Y Agatsuma, E Ballesteros, AG Bazhin, EP Creaser, KA Barnes, LW Botsford, A Bradbury, A Cambril, JD Dixon, S Einarsson, PK Gerring, K Hebrt, M Hunter, P Kalvas, RJ Miller, CA Moreno, JS Palleiro, RS Steneck, RL Vadas, DA Woodby y Z Xiaoqi. 2002. Status and management of world sea urchin fisheries. *Oceanography Marine Biology Annual Review* 40: 343-425.
- BAKUN A. 1996. *Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics*. California Sea Grant College System. University of California, La Jolla, EU. 323p.
- BREEN PA, W Carolsfeld y KL Yamanacke. 1985. Social behavior of sea urchins, *Strongylocentrotus franciscanus* (Agassiz). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 92(1): 45-61.
- BOTSFORD LW, A Campbell y R Miller. 2004. Biological reference points in the management of North American sea urchin fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 61: 1325-1337.
- CADDY JF. 2002. Limit reference points, traffic lights and holistic approaches to fisheries management with minimal stock assessment input. *Fisheries Research* 56: 133-137.
- CADDY JF. 2004. Current usage of fisheries indicators and reference points, and their potential application to management of fisheries for marine invertebrates. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Sciences* 61: 1307-1324.

10. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml#discussion>

- CADDY JF y R Mahon. 1996. Puntos de referencia para la ordenación pesquera. Roma. *FAO Documento Técnico de Pesca* 347, 67p.
- CANEDO-LÓPEZ Y, MJ Dreyfus-León y A Cota-Villavicencio. 1999. Aplicación de un modelo bioeconómico a la pesquería del erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus*, de la costa noroccidental de Baja California, México. *Ciencias Marinas* 25(3): 325-344.
- CASAS-VALDEZ M, E Serviere-Zaragoza, D Lluch-Belda, R Marcos y R Águila-Ramírez. 2003. Effect of climatic change on the harvest of the kelp *Macrocystis pyrifera* on the Mexican Pacific coast. *Bulletin of Marine Science* 73(3): 545-556.
- DOF. 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-007-PESC-1993, para regular el aprovechamiento de las poblaciones de erizo rojo en aguas de jurisdicción federal del océano Pacífico de la costa oeste de Baja California. *Diario Oficial de la Federación*. 1 de septiembre de 1993.
- DURAZO R y TR Baumgartner. 2002. Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997-1999. *Progress in Oceanography* 54: 7-31.
- EBERT TA. 2008. Longevity and lack of senescence in the red sea urchin. *Experimental Gerontology* 43: 734-738.
- EBERT TA y JR Southon. 2003. Red sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) can live over 100 years: confirmation with A-bomb ¹⁴carbon. *Fisheries Bulletin* 101(4): 915-922.
- FAO. 2002. Programa de cómputo FISAT II www.fao.org
- FAO. 2009. Pesca responsable. La ordenación pesquera. Vol. 4, Suplemento 2. Roma. 104p.
- HERNÁNDEZ DE LA TORRE B, G Gaxiola-Castro y S Nájera-Martínez. 2004. Efectos del ENSO en la producción primaria frente a Baja California. *Ciencias Marinas* 30(3): 427-441.
- JURADO-MOLINA J, JS Palleiro-Nayar y NL Gutiérrez. 2009. Developing a bayesian framework for stock assessment and decision analysis of the red sea urchin fishery in Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas* 35(2): 183-193.
- KALVAS PE, JM Hendrix y PM Law. 1997. The California red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*, Fishery: catch, effort and management trend. *Marine Fisheries* 59: 21-17.
- KARL TR, GA Meehl, CD Miller, SJ Hassol, AM Waple y WL Murray. 2008. *Weather and climate extremes in a changing climate. Region of focus: North America, Hawaii, Caribbean and U.S. Pacific Islands*. US Climate Change Science Program, Washington DC. 162p.
- LAMBERT Y. 2008. Why should we closely monitor fecundity in marine fish populations? *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* (41): 93-106.
- LAWRENCE JM. 2001. The edible sea urchins. En: JM Lawrence (ed.). *Edible sea urchins: biology and ecology*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science 32. Elsevier Science. Holanda, pp: 1-3.
- LEVITAN DR, MR Sewell y F Chia. 1992. How distribution and abundance influence fertilization success in the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. *Ecology* 73(1): 248-254.
- LUNDQUIST CJ. 2000. Effects of density dependence and environment on recruitment of coastal invertebrates. Tesis de Doctorado. California Sea Grant College Program, Universidad de California San Diego. 155p.
- LUNDQUIST CJ, LW Botsford, LE Morgan, JM Diehl, T Lee, DR Lockwood y EL Pearson. 2000. Effects of El Niño and La Niña on local invertebrate settlement in northern California. *California Cooperation Oceanic Fisheries Investigations Reports* 41: 167-176.
- LYNN RJ y JJ Simpson. 1987. The California Current System: the seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research* 92: 12947-12966.
- MOTTET MG. 1976. The fishery biology of sea urchins in the family Strongylocentrotidae. *Washington Department of Fisheries Technical Report* 20: 1-66.
- NISHIZAKI MT y JD Ackerman. 2005. A secondary chemical cue facilitates juvenile: adult postsettlement associations in red sea urchins. *Limnology and Oceanography* 50(1): 354-362.
- PALLEIRO-NAYAR JS. 2004. Dinámica de la población de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* sujeta a extracción comercial. Tesis de Maestría. CICESE, Ensenada, BC. 74p.
- PALLEIRO-NAYAR JS. 2009. Análisis poblacional del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus*

- en la costa occidental de la Península de Baja California. Puede considerarse una metapoblación. Tesis de Doctorado. CICESE, Ensenada, BC. 129p.
- PALLEIRO-NAYAR J, D Aguilar-Montero y ML Salgado-Rogel. 2006. La pesquería de erizo de mar. *En: F Arreguín-Sánchez, L Beléndez-Moreno, I Méndez Gómez-Humarán, R Solana-Sansores y C Rangel-Dávalos (eds.). Sustentabilidad y pesca responsable en México. Evaluación y manejo.* SAGARPA, INP, p: 89-100.
- PALLEIRO-NAYAR JS, A Lelevier-Grijalva, M Navarrete-Gutiérrez y JM Romero-Martínez. 1988. Biología del erizo rojo, *S. franciscanus* y su pesquería en Baja California. *En: SEPESCA (ed.). Los recursos pesqueros del país.* INP-SEPESCA, México, pp: 3-74.
- PALLEIRO-NAYAR JS, ML Salgado-Rogel y D Aguilar-Montero. 2008. La pesquería de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* y su incremento poblacional en Baja California. *Ciencia Pesquera* 16: 29-35.
- PARÉS-SIERRA A, M López-Mariscal y E Pavía-López. 1997. Oceanografía física del océano Pacífico nororiental. *En: MF Lavin (ed.). Contribuciones a la oceanografía física de México.* Monografía núm. 3 Unión Geofísica Mexicana, México. 272p.
- ROPELEWSKI C y P Jones. 1987. An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. *Monthly Weather Review* 115: 2161-2165.
- SALGADO-ROGEL ML y JS Palleiro-Nayar. 2008. Disminución de la abundancia de erizo rojo y propuesta para su manejo en Baja California, México. *Ciencia Pesquera* 16: 37-45.
- SPARRE P y SC Venema. 1997. Introducción a la evaluación de recursos tropicales. *Documento Técnico de Pesca* 306/1, FAO, Roma. 420p.
- TEGNER MJ. 2001. The ecology of *Strongylocentrotus franciscanus* and *Strongylocentrotus purpuratus*. *En: JM Lawrence (ed.). Edible sea urchins: biology and ecology.* Developments in aquaculture and fisheries science 32. Elsevier Science. Holanda, pp: 307-331.
- TEGNER MJ y KP Dayton. 1977. Sea urchin recruitment patterns and implications of commercial fishing. *Science* 196: 324-326.
- TODD RE, DL Rudnick, RE Davis y MD Ohman. 2011. Underwater gliders reveal rapid arrival of El Niño effects off California's coast. *Geophysical Research Letters* 38LO3609, doi: 10.1029/2010GL046376.
- WOLTER K y MS Timlin. 1998. Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/98 rank? *Weather* 53(9): 315-324.
- WORKMAN G. 1999. A review of the biology and fisheries for purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus* Stimpson, 1857) and discussion of the assessment needs for a proposed fishery. Research document 99/163. Stock Assessment Division. Canadian Stock Assessment Secret. BC, Canadá. 58p.
- ZAR JH. 1974. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall. 620p.
- ZÁRATE-BECERRA E, P Sierra-Rodríguez, D Aguilar-Montero, A Cota-Villavicencio, JM Romero-Martínez, R Solana-Sansores y F Uribe-Osorio. 2001. Erizo. *En: MA Cisneros-Mata, LF Beléndez-Moreno, E Zárate-Becerra, MT Gaspar-Dillanes, LC López-González, C Saucedo-Ruíz y J Tovar-Ávila (eds.). Sustentabilidad y pesca responsable en México. Evaluación y manejo 1999-2000.* Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México.

Recibido: 3 de marzo de 2011.

Aceptado: 2 de marzo de 2012.