

Variación espacio-temporal de la densidad poblacional de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (Echinodermata: Echinoidea: Strongylocentrotidae) en Baja California

Spatial and temporal variation of the population density of the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* (Echinodermata: Echinoidea: Strongylocentrotidae) in Baja California

Julio S. Palleiro-Nayar,¹ Gabriela Montaña-Moctezuma² y Óscar Sosa-Nishizaki³

¹Instituto Nacional de Pesca. Centro Regional de Investigación Pesquera en Ensenada. AP 187, El Sauzal de Rodríguez, Baja California. 22760. México

²Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Universidad Autónoma de Baja California. AP 423, Ensenada, Baja California. 22800. México

³Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. AP 360, Ensenada, Baja California. 22860. México
e-mail: juliopalleiro@yahoo.com.mx

Palleiro-Nayar J. S., G. Montaña-Moctezuma y O. Sosa-Nishizaki. 2012. Variación espacio temporal de la densidad poblacional del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (Echinodermata: Echinoidea: Strongylocentrotidae) en Baja California. *Hidrobiológica* 22(1): 28-34.

RESUMEN

Se estimó la densidad poblacional de erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus*, en 10 localidades de la costa occidental de Baja California, México, donde se realiza la extracción comercial de este recurso pesquero. Se compararon las estimaciones realizadas en cuatro años muestreados: 2003, 2005, 2006 y 2008. Las variaciones observadas en las localidades analizadas indicaron diferencias espacio-temporales para la densidad de erizo rojo y diferencias en la estructura de tallas, las cuales estuvieron influenciadas principalmente por la intensidad de la pesca y al esporádico reclutamiento en cada sitio. Se encontraron dos localidades (Isla San Jerónimo y Arrecife Sacramento) que destacaron por presentar una alta densidad de erizo rojo y una amplia estructura de tallas, predominando individuos de tallas entre 50 a 80 mm diámetro de caparazón, lo que podría indicar que la intensidad de pesca aparentemente tiene un menor efecto que en los otros sitios.

Palabras clave: Densidad, estructura de tallas, *Strongylocentrotus franciscanus*, erizo rojo.

ABSTRACT

Density estimations of red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* were recorded in ten sites with commercial fisheries on the west coast of Baja California, Mexico. The estimations for the years 2003, 2005, 2006 and 2008 were compared. The variations observed in the study sites indicate important spatial and temporal differences in density and size structure, influenced by fishing intensity and sporadic recruitment in each site. We found two sites (San Jeronimo Island and Sacramento Reef) with a high density and wide size structure; with a predominance of individuals of sizes from 50 to 80 mm with lest impact possible in fishing mortality for all sites.

Key words: Density, size structure, *Strongylocentrotus franciscanus*, red sea urchin.

INTRODUCCIÓN

El erizo rojo, *Strongylocentrotus franciscanus* (A. Agassiz, 1863), se distribuye geográficamente desde Alaska hasta isla Natividad en Baja California Sur, México (Mottet, 1976; Palleiro-Nayar, 2009). Es una de las especies de erizos de mayor tamaño en el mundo, con longitud máxima de 19 cm de diámetro de caparazón (Bureau, 1996). Habita en la zona submareal con fondos rocosos, comúnmente asociado a la comunidad de los mantos de *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) a profundidades de 3 a 50 m. En esta comunidad, los erizos de mar, tanto rojo como morado *S. franciscanus* y *S. purpuratus* (Stimpson, 1857) respectivamente, son considerados especies clave, ya que pueden afectar la abundancia y la distribución de esta importante alga café (Steneck, 1998; Tegner, 2001; Steneck *et al.*, 2002).

En Norteamérica, las poblaciones de erizo rojo, *S. franciscanus* han estado sujetas a una explotación comercial desde la década de los setentas en los estados de Baja California en México, California, Oregon, Washington y Alaska en EUA, así como en la Columbia Británica, Canadá. Recientemente se ha observado una disminución notable en las capturas y en la densidad poblacional de este recurso, debido a la alta presión de pesca ejercida en todos los sitios mencionados (Andrew *et al.*, 2002). En Baja California se inició su pesquería desde 1972, con una captura máxima reportada de 8500 t de peso entero en 1986, disminuyendo a 2000 t en 2007 y 2008 (Palleiro-Nayar, 2009).

El método de extracción del erizo rojo en Baja California, que consiste en recolectar todos los organismos adultos de un sitio durante las operaciones de captura comercial, disminuye notablemente su abundancia e inclusive puede causar su erradicación (Palleiro-Nayar, 2009). Los registros históricos de la densidad de *S. franciscanus* en Baja California, muestran una disminución en todas las poblaciones analizadas, con referencia a las densidades encontradas en 1980, siendo la principal causa la intensa pesca comercial (Palleiro-Nayar, 2004; Salgado-Rogel & Palleiro-Nayar, 2008).

La captura de *S. franciscanus* en Baja California tiene la siguiente reglamentación: talla mínima de captura de 80 mm diámetro del caparazón (sin espinas), entrega del organismo vivo en la planta procesadora, época de veda de marzo a junio de cada año, un buzo por embarcación (DOF, 1993).

El objetivo de este trabajo fue determinar la variación espacio-temporal de la densidad poblacional del erizo rojo, *S. franciscanus* en 10 localidades donde se extrae comercialmente este recurso pesquero en Baja California, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tomando en cuenta que hay 26 localidades que tradicionalmente han registrado capturas de erizo rojo en la costa occidental de

Baja California, se seleccionaron 10 sitios de mayor importancia en función a las mayores capturas registradas en los últimos 15 años, incluyendo cuatro islas: Coronados Sur (1), Todos Santos (2), San Martín (3) y San Jerónimo (4); cinco sitios en la costa: Popotla (5), Punta Banda (6), Santo Tomás (7), Punta San Quintín (8) y Punta Baja (9); y el arrecife Sacramento (10) al sur de la bahía El Rosario (Fig. 1).

Los muestreos se realizaron a profundidades entre 10 y 25 m durante los meses de junio a octubre (salidas realizadas en función a la disponibilidad de embarcación y a las condiciones ambientales) en los años de 2003, 2005, 2006 y 2008. Para conocer la densidad de *S. franciscanus* en las áreas de estudio, se diseñó un muestreo aleatorio simple, con transectos de 10 m x 2 m (20 m²). El número de transectos en cada zona se determinó considerando el área de distribución del erizo rojo y los valores del error estándar obtenidos en evaluaciones anteriores en los mismos sitios (Kingsford & Battershill, 1998). En cada transecto, por medio de buceo autónomo, se determinó el número de erizos encontrados y se midió el diámetro de su caparazón en todos los organismos, con un vernier de plástico y se elaboraron histogramas de frecuencia de talla con un intervalo de clase de 5 mm (estimado empíricamente), para observar la estructura de tallas

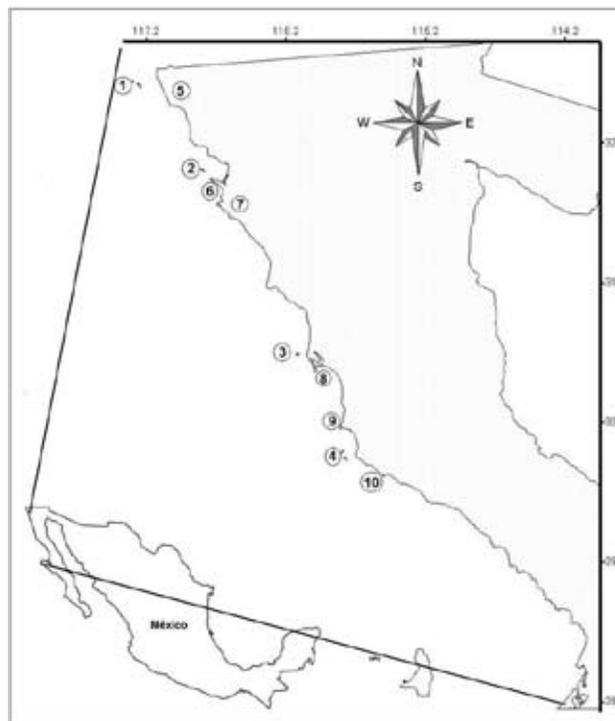


Figura 1. Sitios de muestreo y área de extracción del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California, México. 1) Isla Coronado Sur, 2) Isla Todos Santos, 3) Isla San Martín, 4) Isla San Jerónimo 5) Popotla, 6) Punta Banda, 7) Santo Tomás, 8) Punta San Quintín, 9) Punta Baja, y 10) Arrecife Sacramento.

de la población de *S. franciscanus* en las 10 localidades para los años de 2003, 2005 y 2006.

Con los datos de la densidad de erizos por transecto, se estimó la densidad poblacional para cada sitio, utilizando un estimador de distribución lognormal sin sesgo en su media y varianza (Conquest et al., 1996; Pennington, 1996). Consideramos que era mejor utilizar este estimador, que el comúnmente empleado de media geométrica, que supone una distribución normal de los datos, porque las evaluaciones realizadas para estimar la densidad del erizo desde 1980 a la fecha para las 26 localidades en Baja California, mostraron que en la mayoría de las campañas los datos de densidad, presentaron una distribución lognormal, ya que en varios transectos se reportaron valores de cero erizos y en otros transectos hubo valores de hasta 200 erizos por 20 m² (Palleiro-Nayar, 2009). Además este estimador permitió tener un diferente número de unidades de muestreo en cada sitio.

De esta manera, los estimadores utilizados, sin sesgo de la media (c) y la varianza $var(c)$ fueron los siguientes:

$$c = \begin{cases} \frac{m}{n} \exp(\bar{y}) g_m(s^2/2), & m > 1 \\ \frac{x_i}{n}, & m = 1 \\ 0, & m = 0 \end{cases} \quad (1)$$

y

$$d = \begin{cases} \frac{m}{n} \exp(2\bar{y}) \left\{ g_m(2s^2) - \frac{m-1}{n-1} g_m \frac{m-2}{m-1} s^2 \right\}, & m > 1 \\ \frac{x_i}{n}, & m = 1 \\ 0, & m = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Donde n es el número de unidades muestreadas, m es el número de unidades de muestreo con valores diferentes de cero (estaciones positivas), \bar{y} y s^2 son la media y varianza de los valores diferentes de cero no transformado cuando $m = 1$, y $g_m(x)$ es una función de x y m (Pennington, 1996) expresada como:

$$g_m(x) = 1 + \frac{m-1}{m} x + \quad (3)$$

$$\sum_{j=2}^{\infty} \frac{(m-1)^{2j-1} x^j}{m^j (m+1)(m+3)\dots(m+2j-3)j!}$$

El estimador sin sesgo de varianza de la media c ($var_{est}(c)$) está dado por:

$$var_{est}(c) = \begin{cases} \frac{m}{n} \exp(2\bar{y}) \left\{ \frac{m}{n} g_m \left(\frac{s^2}{2} \right) - \left(\frac{m-1}{n-1} \right) g_m \left(\frac{m-2}{m-1} s^2 \right) \right\}, & m > 1 \\ \left(\frac{x_i}{n} \right)^2, & m = 1 \\ 0, & m = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Cuando $n = m$ el estimador supone una distribución lognormal (Conquest et al., 1996).

Para conocer si existían diferencias de la densidad poblacional de *S. franciscanus* en las localidades (factor fijo) para todos los años muestreados, se utilizó el análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($p < 0.05$), para identificar las diferencias significativas entre localidades (Zar, 1996).

También se realizó otra prueba estadística (ANDEVA) para evaluar diferencias interanuales de la densidad poblacional del erizo rojo.

RESULTADOS

La densidad poblacional de *S. franciscanus* varió entre sitios y también interanualmente (Fig. 2). La densidad estimada presentó diferencias significativas para los 10 sitios ($F = 4.98$, $p = 0.0001$, $Gl_{total} = 9$, $Gl_{entre} = 3$, $Gl_{dentro} = 6$) (Tabla 1), encontrando la más alta densidad en el arrecife Sacramento, la cual presentó diferencias significativas con seis localidades en 2003 y 2005; y diferencias con ocho y nueve localidades para los muestreos realizados en 2006 y 2008 respectivamente, de acuerdo a las pruebas estadísticas de Tukey $p < 0.05$.

Se observaron variaciones interanuales de la densidad del erizo rojo en cada sitio, presentando diferencias significativas sólo para el año 2008 ($F = 2.51$ $p = 0.12$ $Gl_{total} = 91$, $Gl_{entre} = 3$, $Gl_{dentro} = 88$) (Tabla 2). En cuanto a las diferencias de la densidad estimada para cada año muestreado, el decremento más notable se observó en Punta Banda, puesto que de tener una densidad de 8.79 erizos m⁻² en 2003, disminuyó a 3.59 erizos m⁻² en 2008. Esto parece relacionado con el aumento continuo de la captura observado desde 2003 en esa localidad (Palleiro-Nayar, 2009).

Tabla 1. Resultado ANDEVA de la densidad de *S. franciscanus* para diez localidades en los cuatro años muestreados. Las estimaciones fueron realizadas por localidad (factor fijo) cada uno de los años analizados.

Año	SC	Grados libertad (total, entre, dentro)	SCM	F	P
2003	493.86	9, 3, 6	54.87	7.62	0.0001
2005	584.17	9, 3, 6	64.90	7.45	0.0001
2006	798.91	9, 3, 6	88.76	37.79	0.0001
2008	1190.42	9, 3, 6	132.27	71.43	0.0001

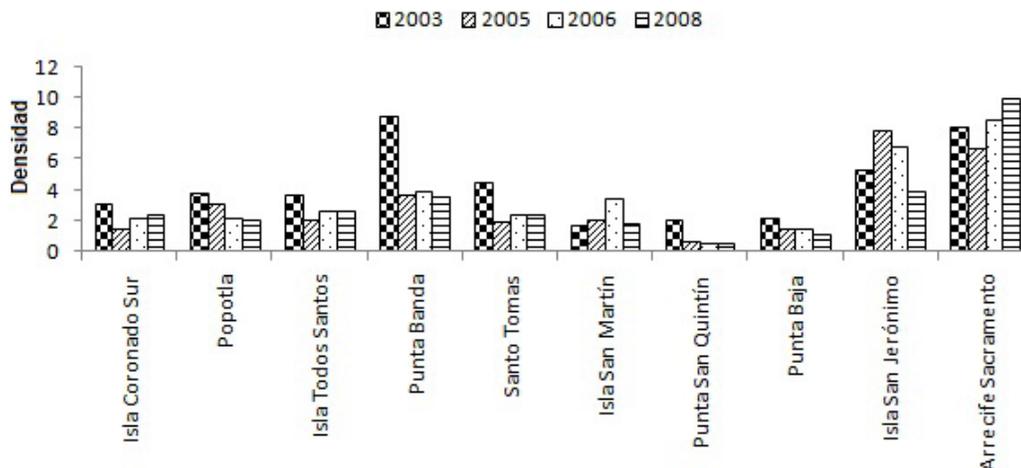


Figura 2. Densidad del erizo rojo *Stongylocentrotus franciscanus* (m²· año) para cada localidad muestreada (media y error estándar) en 4 años de muestreo.

En Popotla también disminuyó la densidad por la alta intensidad de pesca, ya que en esta localidad operan más de 40 buzos dedicados a la pesca comercial.

Otra localidad importante en cuanto a la densidad poblacional de *S. franciscanus* fue isla San Jerónimo, que en 2003 mostró una estimación de 5.36 erizos m⁻², en 2005 de 7.81 erizos m⁻² y en 2006 de 6.85 erizos m⁻²; siendo notable su disminución en el 2008 disminuyó la densidad a 3.89 erizos m⁻². Por el contrario, en el arrecife Sacramento, en donde la extracción de erizo había disminuido a partir de 2004 (Palleiro-Nayar, 2009), las densidades de erizo rojo aumentaron (7 a 8 erizos m⁻²) y fueron significativamente mayores al resto de las localidades. La reducción en las capturas de erizo en el arrecife Sacramento se debió a la baja en el precio de la gónada del erizo, y a que los productores se dedicaron a la extracción de otros recursos de mejor rentabilidad como el pepino de mar (*Parastichopus parvimensis* Clark, 1903), la langosta (*Panulirus interruptus* (Randall, 1840)) y la almeja generosa (*Pannopea generosa* Gould, 1850) (comunicación personal de pescadores de la localidad, 2008).

El análisis de la estructura de tallas permitió comparar el efecto de la explotación a través del tiempo e identificar las

poblaciones con una dinámica similar en cuanto a la presencia de adultos ≥60 mm, frecuencia de eventos de reclutamiento importantes y crecimiento de una cohorte específica. Al analizar la estructura de tallas de las 10 localidades (Fig. 3a-j) se puede resaltar los siguientes puntos: en 2003, la abundancia de erizos adultos en todas las localidades fue alta, principalmente en isla Todos Santos (Fig. 3c), Punta Banda (Fig. 3d), Santo Tomás (Fig. 3e), isla San Jerónimo (Fig. 3h) y arrecife Sacramento (Fig. 3j).

En 2005 y 2006, se observó la presencia de erizos ≤40 mm (reclutas) con bajos porcentajes para Popotla e isla San Jerónimo y mayor presencia en los otros sitios (Figs. 3b, 3h).

En todas las localidades se observó que en 2005 y 2006 hubo una disminución evidente de organismos >80 mm (talla mínima de captura), debida a la presión de pesca sobre el recurso.

DISCUSIÓN

La disminución de las densidades de erizos adultos en todas las localidades muestreadas durante este estudio es evidente y se debe, entre otros factores, a la combinación de la intensidad de pesca y al bajo reclutamiento (esporádico) que se observó en la mayoría de las localidades. La biomasa estimada para toda el área de extracción de *S. franciscanus* en Baja California, México, corresponde solamente al 17% de la biomasa total antes de iniciar la captura en 1972, por lo que se considera una pesquería sobreexplotada (Jurado-Molina *et al.*, 2009). Carter y VanBlaricom (2002) analizaron el efecto de la pesca en la densidad del erizo rojo, al comparar una localidad explotada con un sitio sin extracción (control), reportando bajas densidades en los sitios con extracción experimental y densidades altas en los sitios control, así como diferencias en la distribución de tallas y en el reclutamiento.

Tabla 2. Resultado ANDEVA de la densidad de *S. franciscanus* para estimar diferencias interanuales.

Año	SC	Grados libertad (total, entre, dentro)	SCM	F	P
2003	29.72	91, 3, 88	2.70	0.93	0.519
2005	31.08	91, 3, 8	2.39	0.82	0.632
2006	68.79	91, 3, 88	5.73	1.97	0.053
2008	94.86	91, 3, 88	7.29	2.52	0.012
Error	115.90		2.89		

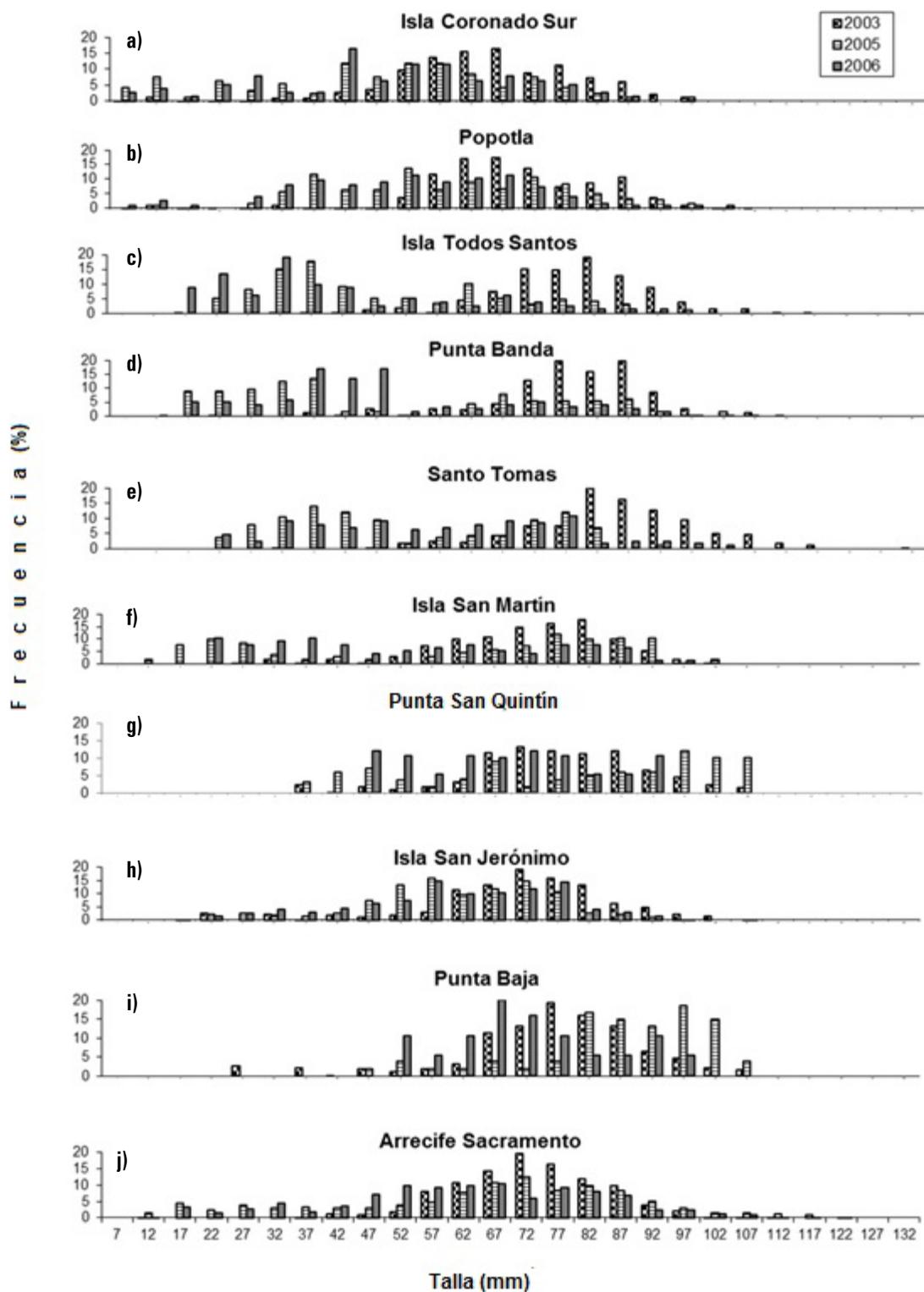


Figura 3a-j. Estructura de tallas del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* (intervalo de talla c/5 mm) en las diez localidades muestreadas en los años 2003, 2005 y 2006.

Los sitios con una alta densidad de erizos rojos como arrecife Sacramento e isla San Jerónimo, tienen valores más altos que las áreas de reservas marinas de California, EUA, donde se prohíbe su pesca, con densidades de 4 a 5 erizos rojos m^{-2} (Kalvas & Hendrix, 1997), lo cual contrasta con 15 localidades donde se ejerce la pesca comercial en el norte de California, donde los mismos autores estimaron densidades entre 0.5 a 0.7 erizos rojos m^{-2} , similares a lo estimado en Punta San Quintín.

Para asegurar un éxito reproductivo, la densidad de erizos adultos debe ser de al menos 1 erizo m^{-2} (Levitan *et al.*, 1992). Las densidades menores, como en Punta San Quintín y Punta Baja, disminuyen la probabilidad de poder contar con fertilización adecuada y por ende afecta la tasa reproductiva. La falta de erizos adultos también puede afectar el reclutamiento, al reducir la protección que proveen los adultos a los erizos recién asentados, aumentando la mortalidad post-asentamiento (Tegner, 2001).

Por otro lado, el análisis de la estructura de tallas, combinado con la información de crecimiento somático de 12 a 20 mm por año (Palleiro-Nayar *et al.*, 2009), permitió determinar el tiempo aproximado que tardarán los juveniles en alcanzar la talla mínima de captura de 80 mm de diámetro de caparazón, que es de 4 a 5 años. La estructura de tallas de la población de erizo rojo en la mayoría de las localidades visitadas, mostró una disminución importante de organismos mayores que la talla mínima legal (80 mm). Esta disminución se debe principalmente a la extracción comercial, ya que los erizos de ≥ 60 mm son menos vulnerables a la depredación (Tegner, 2001).

En las poblaciones de erizo rojo en California, E.U.A., se ha observado una distribución de talla bimodal, encontrando un mayor porcentaje de organismos juveniles y adultos, con una menor frecuencia de organismos de tallas entre 40 y 60 mm, los cuales son vulnerables a la depredación selectiva de las langostas y estrellas de mar (Tegner & Dayton, 1981). Este patrón se ha atribuido a los cambios ontogénicos del microhábitat, de tal manera que cuando los juveniles crecen, salen de sus refugios (debajo de los erizos o del sustrato de protección), y se incrementa su depredación (Bostford *et al.*, 1994). Este tipo de distribución es común en zonas de reserva y en zonas moderadamente explotadas (Montaño-Moctezuma, *et al.*, 2008). Por el contrario, las poblaciones expuestas a una fuerte explotación, están formadas principalmente por erizos juveniles (Palleiro-Nayar, 2009).

En las localidades estudiadas en Baja California, se observó la combinación de una explotación alta y un reclutamiento esporádico, dando lugar a estructuras de talla unimodales de 50 a 75 mm para 6 de los 10 sitios muestreados.

Otro factor importante que determina la estructura de tallas es el reclutamiento y para el erizo rojo en Baja California, éste es esporádico y, aunque anualmente se pueden detectar reclutas, las abundancias en varias localidades son muy bajas. La dinámica

del reclutamiento de estas poblaciones sugiere que los eventos importantes de reclutamiento no son anuales, y que las poblaciones dependen de estos pulsos importantes de reclutamiento para recuperarse (Palleiro-Nayar *et al.*, 2011).

Las variaciones observadas en las 10 localidades analizadas indicaron diferencias espaciales significativas en la densidad de erizo rojo y diferencias marcadas en la estructura de tallas. Sin embargo, comparando todas las localidades se encontraron diferencias significativas interanuales en 2008, lo que sí fue notorio para algunas localidades como Punta Banda y Popotla, fue drástico el decremento de la densidad de erizos estimada en 2003 a la encontrada en 2008. Estas diferencias seguramente estuvieron influenciadas por la intensidad de pesca y las tasas de reclutamiento en cada sitio.

En contraparte se encontraron dos localidades (isla San Jerónimo y arrecife Sacramento) que destacaron por presentar una alta densidad de erizo rojo y una amplia estructura de sus tallas, predominando individuos de tallas entre 50 a 80 mm. Así como, dos sitios: Punta San Quintín y Punta Baja, con bajas densidades poblacionales y un bajo porcentaje de erizos juveniles.

Por todo lo anterior, se requiere instrumentar un manejo pesquero adecuado, para la extracción comercial de *S. franciscanus* en Baja California, tomando en cuenta las diferencias entre las localidades y cerrando áreas a la pesca cuando las densidades sean menores de 2 erizos m^{-2} .

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al financiamiento del proyecto "Estudio poblacional del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en sus principales áreas de captura de la costa occidental de Baja California". Clave de Registro: BC-01-2003-09 Fondos Mixtos CONACYT-Gobierno de Baja California.

Al Buzo Francisco Uribe Osorio y al personal del Proyecto Erizo-Pepino del CRIP Ensenada, por su apoyo en los muestreos de campo.

REFERENCIAS

- ANDREW, N. L., Y. AGATSUMA, E. BALLESTEROS, A. G. BAZHIN, E. P. CREASER, K. A. BARNES, L. W. BOTSFORD, A. BRADBURY, A. CAMPBELL, J. D. DIXON, S. EINARSSON, P. K. GERRING, K. HEBERT, M. HUNTER, P. KALVASS, R. J. MILLER, C. A. MORENO, J. S. PALLEIRO, R. S. STENECK, R. L. VADAS, D. A. WOODBY & Z. XIAOQI. 2002. Status and management of world sea urchin fisheries. *Oceanography Marine Biology. Annual Review* 40: 343-425.
- BUREAU, D. 1996. Relationship between feeding, reproductive condition, jaw size and density in the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. Tesis de Maestría, Simon Fraser Univ. Burnaby, Canada. 90 p

- BOSTFORD, L. W., C. L. MOLONEY, A. HASTING, J. L. LARGIER, T. M. POWELL, K. HIGGINS & J. F. QUIN. 1994. The influence of spatially and temporally varying oceanographic conditions on meroplanktonic metapopulations. *Deep-Sea Research II* 41:107-145.
- CARTER S. K & G. R. VANBLARICOM. 2002. Effects of experimental harvest on red sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) in northern Washington. *Fishery Bulletin* 100: 662-673.
- CONQUEST, L., R. BURR, R. DONNELLY, J. CHAVARRIA & V. GALLUCCI. 1996. Sampling methods for stock assessment for small scale fisheries in developing countries pp. 179-225. In: Gallucci, V., S. Saila, D.J. Gustafson and B. Rothschild (Eds.). *Stock Assessment Quantitative Methods and Applications for Small Scale*. Gallucci, V., S. Saila, D.J. Gustafson and B. Rothschild (Eds). CRC Press Inc. 85 p.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF). 1993. NOM-007-PESC-1993. Norma Oficial Mexicana 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. Secretaría de Pesca. Diario Oficial de la Federación. México. 15 de diciembre 1993.
- JURADO-MOLINA, J., J. S. PALLEIRO-NAYAR & N. L. GUTIÉRREZ. 2009. Desarrollo de un marco Bayesiano para la valoración del stock y el análisis de decisión de la pesquería de erizo rojo en Baja California. *Ciencias Marinas* 35 (2): 183-193.
- KALVASS, P. E. & J. M. HENDRIX. 1997. The California red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. Fishery: catch, effort and management trend. *Marine Fisheries* 59: 21-17.
- KINGSFORD, M. & C. BATTERSHILL. 1998. *Studying temperate marine environments: a Handbook for Ecologists*. Canterbury University Press, Christchurch, New York, USA. 245 p.
- LEVITAN, D. R., M. A. SEWELL & F. S. CHIA. 1992. How distribution and abundance influence fertilization success in the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. *Ecology* 73: 248-254.
- MONTAÑO-MOCTEZUMA, G., H. W. LI & P. A. ROSSIGNOL. 2008. Variability of community interaction networks in marine reserves and adjacent exploited areas. *Fisheries Research* 94: 99-108.
- MOTTET, M. G. 1976. The fishery biology of sea urchins in the family of the sea urchin *Strongylocentrotidae*. Washington. *Deep Fisheries Technical Report* 20: 1-66.
- PALLEIRO-NAYAR, J. S. 2004. Dinámica de la población de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* sujeta a extracción comercial en Baja California. Tesis de Maestría (Ecología Marina), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada B. C., México, 74 p.
- PALLEIRO-NAYAR, J. S. 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 (Ecología Marina), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. Ensenada B.C., México. 115 p.
- PALLEIRO, J. S., O. SOSA-NISHIZAKI & G. MONTAÑO-MOCTEZUMA. 2009. Estimación de la tasa de crecimiento corporal del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en cautiverio y en el Arrecife Sacramento en la Bahía El Rosario, Baja California, México. *Ciencia Pesquera* 17 (2): 13-20.
- PALLEIRO-NAYAR, J. S., O. SOSA-NISHIZAKI & G. MONTAÑO-MOCTEZUMA. 2011. Importancia del sustrato y la presencia de adultos en el reclutamiento del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California. *Ciencias Marinas* 37 (1): 59-70
- PENNINGTON, M. 1996. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data. *Fishery Bulletin* 94: 498-505.
- SALGADO-ROGEL, M. L. & J. S. PALLEIRO-NAYAR. 2008. Disminución de la abundancia de erizo rojo y propuesta para su manejo en Baja California, México. *INAPESCA Ciencia Pesquera* 16: 37-45.
- STENECK, R. S. 1998. Human influences on coastal ecosystems: does overfishing create trophic cascades? *Tree* 11: 429-430.
- STENECK, R. S., M. H. GRAHAM, B. J. BOURQUE, D. CORBETT, J. M. ERLANDSON, J. A. ESTES & M. J. TEGNER. 2002. Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation* 29 (4): 436-459.
- TEGNER, M. J. 2001. The ecology of *Strongylocentrotus franciscanus* and *Strongylocentrotus purpuratus*. In: Miller Lawrance J. (Ed.). *Edible sea urchins: Biology and Ecology*. 189 p.
- TEGNER, M. J. & P. K. DAYTON. 1981. Population structure recruitment and mortality of two sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *S. purpuratus*) in a kelp forest near San Diego, California. *Marine Ecology Progress Series* 5: 255-268.
- ZAR J. H. 1996. *Bioestadistical Analysis* 3rd Ed. Prentice-Hall, Inc. Englewood Clifts, N. J. 718 p.

Recibida: 5 de febrero de 2010.

Aceptada: 14 de septiembre de 2011.