

RECURSOS BENTÓNICOS
DE BAJA CALIFORNIA:
ERIZO Y PEPINO DE MAR

Instituto Nacional de Pesca

M. en C. Raúl Adán Romo Trujillo
Director General

Dr. Marco Linné Unzueta Bustamante
Director General Adjunto de Investigación en Acuicultura

Biól. Luis Francisco Javier Beléndez Moreno
Director General Adjunto de Investigación Pesquera en el Atlántico

Dr. Manuel Otilio Nevárez Martínez
Director General Adjunto de Investigación Pesquera en el Pacífico

RECURSOS BENTÓNICOS
DE BAJA CALIFORNIA:
ERIZO Y PEPINO DE MAR

JULIO SAID PALLEIRO NAYAR
(Compilador)

Recursos bentónicos de Baja California: erizo y pepino de mar
Julio Said Palleiro Nayar (compilador)

Revisión editorial: Leticia Huidobro Campos, Ma. Teresa Gaspar Dillanes, Elaine Espino Barr, Cecilia E. Ramírez Santiago
Corrección de estilo: Lurdes Asiain Córdoba
Diagramación: Olivia Hidalgo Martin
Diseño de Portada: Éctor Sandoval
Fotografía de portada: Julio Said Palleiro Nayar

La presente publicación se terminó de imprimir en el mes de septiembre de 2013, en Ediciones de la Noche, calle Madero núm. 687, Guadalajara, Jal. C.P. 44100. Tel. 01 (33) 38251301. www.edicionesdelanoche.com

La reproducción parcial o total de esta publicación, ya sea mediante fotocopias o cualquier otro medio, requiere la autorización por escrito del representante legal del Instituto Nacional de Pesca.

Primera edición, 2013

D.R. © 2013, Instituto Nacional de Pesca
Pitágoras núm. 1320, Col. Santa Cruz Atoyac, C.P. 03310,
Delegación Benito Juárez, México, D.F.
<http://www.inapesca.gob.mx>

ISBN: 978-607-8274-08-6

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Contenido

La pesca de erizo de mar en Baja California, México	9
<i>Julio Said Palleiro-Nayar, Ma. de Lourdes Salgado-Rogel, David Aguilar-Montero y José Luis Rivera-Ulloa</i>	
La pesquería y el manejo del pepino de mar <i>Parastichopus parvimensis</i> en la costa occidental de Baja California	33
<i>Ma. de Lourdes Salgado-Rogel, Julio Said Palleiro-Nayar, Ernesto Chávez-Ortiz, David Aguilar-Montero, Itzel Ortega-Salgado y José Luis Rivera-Ulloa</i>	
Literatura citada	55

La pesca de erizo de mar en Baja California, México

Julio Said Palleiro-Nayar
Ma. de Lourdes Salgado-Rogel
David Aguilar-Montero
José Luis Rivera-Ulloa

El estado de Baja California tiene una vocación pesquera muy importante al contar con dos litorales para realizar actividades de pesca. El litoral occidental del estado recibe aguas frías de la corriente de California en el océano Pacífico, en donde se realiza la mayor actividad pesquera ribereña que incluye la captura de langosta, caracol, pepino de mar, almeja generosa, algas marinas, escama, tiburón y dos especies de erizo de mar *Strongylocentrotus franciscanus* (A. Agassiz 1863), conocido como erizo rojo, y el erizo morado, *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson 1857).

El erizo rojo es uno de los más apreciados en el mercado asiático por la calidad de su gónada, utilizada para consumo humano directo en restaurantes y bares en muchas ciudades de Japón. El erizo rojo se captura en varios estados de Norteamérica: Columbia Británica en Canadá; Alaska, Washington, Oregon y California en Estados Unidos de América, y Baja California, México. Se exporta al mercado japonés en varias presentaciones, principalmente en cajas de madera y plástico con capacidad de 70 g a 300 gramos.

Antecedentes de la pesquería

Los primeros intentos de explotación de erizo de mar en Baja California fueron realizados a finales de la década de los sesenta por una compañía japonesa, pero fue hasta 1972 cuando se inició la explotación comercial con una captura de 93 t de peso entero (Malagrino 1972, Palleiro-Nayar *et al.* 1996). La pesquería inició únicamente sobre el erizo rojo *S. franciscanus*, y a partir de 1991 también sobre el erizo morado *S. purpuratus* (Palleiro-Nayar *et al.* 1996). En la actualidad, el erizo de mar constituye un recurso de gran importancia en Baja California, México.

Se cuenta con 25 sitios de descarga o varaderos, la mayoría no cuenta con facilidades de muelle (sólo las hay en el puerto de El Sauzal y en el de Ensenada). Algunos sitios cuentan con rampas, pero el mayor porcentaje de los pescadores vara en la playa arenosa sus embarcaciones. Los sitios de arribo del erizo se localizan desde Popotla hasta Punta San Carlos, en un distancia cercana a los 450 km. Existen 12 plantas procesadoras y se ubican en Ensenada, San Quintín y El Rosario, donde se procesa, limpia y empaca el producto, y dan empleo en forma directa al menos a 750 personas.

Descripción de las operaciones de pesca

La captura del erizo de mar se realiza mediante el buceo semiautónomo con un compresor de aire y una manguera con boquilla que suministra aire al buzo, quien busca en el fondo del mar –hasta los 30 m de profundidad– para extraer los erizos. Para esta pesca se emplea una embarcación de fibra de vidrio de eslora (largo de la embarcación) de entre 5 m y 8 m, con motor fuera de borda de 45 a 75 caballos de fuerza.

En las operaciones de captura participan tres personas: un motorista, el cabo de vida (que vigila el compresor y la manguera de suministro de aire) y el buzo; la jornada de trabajo puede ser de entre cuatro a seis horas, el tiempo de buceo varía de dos a cuatro horas dependiendo de la disponibilidad del recurso y la calidad de la gónada.

El buzo utiliza un gancho para desprender el erizo del sustrato y lo coloca en una bolsa de red llamada chinguillo. Cuando ésta se llena, jala la manguera como señal al cabo de vida para que envíe un cabo con plomo que contiene una bolsa vacía y suba la bolsa llena. Algunas organizaciones

de pescadores fijan cuotas diarias de captura a sus buzos que pueden ir de 100 kg a 200 kg de peso total de erizo.

El erizo rojo o morado se entrega vivo en la planta de procesamiento, a donde se transporta principalmente en tibores de plástico (de 100 litros y 200 litros) cubiertos con lonas o algas para mantenerlos frescos. El erizo puede resistir varias horas vivo fuera del agua de mar.

Ya en la planta se abren con unas pinzas especiales y se extraen las cinco gónadas, enseguida se les coloca en agua de mar o salada para evitar que se deshidraten; se limpian de restos de intestinos y se colocan en cajas de madera o plástico para su comercialización.

Inicio de las investigaciones en el INAPESCA

Las primeras investigaciones de erizo de mar en Baja California realizadas por el Centro Regional de Investigaciones Pesqueras (CRIP) de Ensenada, se hicieron en 1979 cuando la pesquería de erizo rojo ya tenía siete años de haber iniciado. Se llevaron a cabo las primeras estimaciones de la densidad poblacional de erizo rojo en varias localidades, sobre todo en áreas cercanas a la ciudad de Ensenada y en la bahía El Rosario, Baja California.

De 1972 a 1986, los permisionarios podían operar en cualquier área, todo el año, sin límite de extracción ni de tamaño de los organismos. Solamente se regía la extracción con base en lo que dictara el mercado y en la condición biológica de los erizos. La captura disminuía de marzo a mayo debido a los máximos picos de desove, que origina que las gónadas sean pequeñas.

Poco después se promovió que cada productor contara con un área de extracción de erizo exclusiva determinada en un polígono con coordenadas geográficas, que debería aprovechar racionalmente mediante la rotación de bancos y respetando la normatividad. Sin embargo, existen casos, como en la bahía El Rosario, donde varios grupos de productores operan en la misma área, lo que no ayuda al uso racional del recurso y a su conservación.

La primera reglamentación oficial fue instrumentada en 1987 en función de un dictamen que elaboró el Proyecto Erizo del CRIP Ensenada en 1986, en la que se proponía una talla mínima de captura de 80 mm de

diámetro de caparazón y una época de veda de tres meses que se amplió a cuatro meses (marzo a junio), años después. La normatividad oficial se estableció en la Norma Oficial Mexicana NOM 007-PESC-1993 (DOF 1993).

La recepción de erizo entero en las plantas de procesamiento inició en 1984, ya que antes sólo se entregaban las gónadas en cubetas de 20 litros (Fig. 1). El personal del CRIP inició en ese año los muestreos de erizo rojo en las plantas, para conocer la estructura de tallas de los organismos provenientes de la captura comercial, estimar las tallas promedio, el porcentaje de organismos menores a la talla mínima legal y la estimación de la mortalidad por pesca para cada temporada.



FIG. 1. Planta de proceso de erizo. Recepción del erizo [izquierda], limpieza de la gónada (centro) y, empaque en caja de madera [derecha]. Fotografías de Julio S. Palleiro.

A partir de 1988 se analizó información de las capturas, esfuerzo y CPUE para cada zona de pesca (dividiendo en cuatro zonas toda el área de captura de erizo en la costa occidental de Baja California). Aún se continúa analizando la tendencia del recurso con la finalidad de conocer su estado actual; se le da seguimiento al comportamiento de la captura, del esfuerzo de pesca (número de días trabajados) a la tendencia de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), a la densidad poblacional en las principales áreas de captura y a la estructura de tallas de organismos en cada localidad. Todos estos aspectos ayudan a informar si se está dañando la población del recurso.

Aspectos biológicos del recurso

Posición taxonómica:

Phylum Echinodermata

Subphylum Eleutherozoa

Clase Echinoidea

Familia Strongylotridae

Género *Strongylocentrotus*

Especie *Strongylocentrotus franciscanus* (A. Agassiz 1863) erizo rojo

Especie *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson 1857) erizo morado



FIG. 2. Erizo de mar. Erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* [izquierda], erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* [derecha]. Fotografías de Julio S. Palleiro.

Distribución geográfica

El erizo rojo y el erizo morado (Fig. 2) se distribuyen geográficamente desde Alaska hasta Isla Natividad, Baja California Sur (Mottet 1976, Palleiro-Nayar 2009). Habitan en la zona submareal con fondos rocosos, por lo regular asociados a la comunidad de los mantos de algas marinas como *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus 1820), llamada comúnmente “alga café o gigante” de tres a 500 m de profundidad. En esta comunidad, los erizos de mar 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).

Alimentación

La boca del erizo está pegada al sustrato y constituida por una estructura llamada linterna de Aristóteles con cinco dientes, rodeada de una membrana, que es su parte vulnerable. El ano y los gonoductos se encuentran en la parte superior del caparazón (Fig. 3).

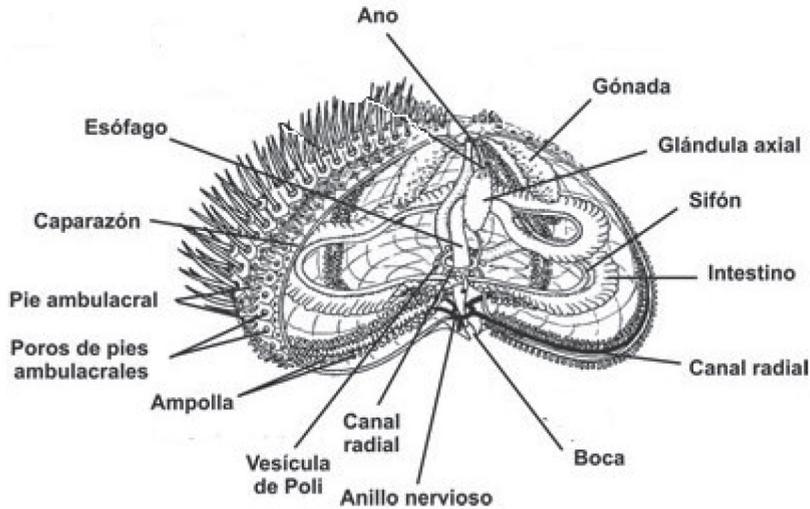


FIG. 3. Anatomía del erizo de mar.

El régimen alimenticio del erizo rojo es herbívoro, consume todo tipo de algas, pero muestra preferencia por *Macrocystis pyrifera*, razón por la cual está asociado a sus mantos (Tegner y Dayton 1981). En cambio, el erizo morado puede alimentarse de gran variedad de algas.

Crecimiento

El erizo rojo es una de las especies de erizos de mayor tamaño en el mundo, con una talla de caparazón máxima de 19 cm de diámetro (Bureau 1996), con crecimiento continuo durante toda su vida; puede llegar a vivir hasta 100 años (Ebert y Southon 2003) sin que se reduzca la capacidad reproductiva en los individuos más longevos (Ebert 2008). Varios factores pueden afectar su tasa de crecimiento y su tamaño máximo; entre los más

importantes están la disponibilidad y el valor nutricional de las algas de las que se alimentan, la competencia por espacio y alimento, así como factores ambientales físicoquímicos (Leighton 1971, Baker 1973).

Para observar el crecimiento en los erizos se ha utilizado una variedad de marcas externas (en las espinas y sobre el caparazón); sin embargo, la mayoría de éstas no es retenida y en pocos días o meses el erizo se desprende de la espina o muere a consecuencia de la introducción de una marca externa dentro del caparazón. Otra marca que se ha usado es una marca interna electrónica (PIT Tag), con el inconveniente de que sólo se detecta con un lector específico (Haggen 1996).

La ventaja de esta marca electrónica es que no causa mortalidad y su retención es muy buena (95% a 99%). Se inyecta en la membrana peritomal alrededor de la boca (Nilsen 1992). Esta marca electrónica, que contiene un pequeño chip de 10 dígitos, está encapsulada en un protector de cristal cilíndrico con dimensiones de 2.11 mm x 12 mm. Se recomienda utilizarla en erizos con una talla mínima de 25 mm para no dañarlo con la introducción de la marca (Haggen 1996). Este tipo de marca se utilizó para estudios de crecimiento del erizo rojo con una retención de 90% y una mortalidad de 4% en 205 días de estudio (Kalvas *et al.* 1998).

Palleiro-Nayar *et al.* (2009) utilizaron la marca electrónica PIT Tag para estudiar a los erizos rojos. Estimaron el crecimiento de los organismos comparando erizos en cautiverio y en su medio natural. En el laboratorio el incremento diario promedio fue de $0.0765 \text{ mm} \pm 0.032 \text{ mm}$ de diámetro de caparazón, con un máximo de 0.136 mm y mínimo de 0.01 mm, en erizos de talla inicial de 29 mm a 61 mm. Con los datos de los incrementos diarios y la talla inicial de cada organismo se estimó la tasa de crecimiento individual $k = 0.24 \text{ año}^{-1}$ con una $L_{\infty} = 89.25 \text{ mm}$. En el medio natural el crecimiento de los erizos rojos fue menor que en cautiverio, así, el promedio diario de crecimiento fue de $0.033 \pm 0.011 \text{ mm}$ ($k = 0.18 \text{ año}^{-1}$ con una $L_{\infty} = 118.98 \text{ mm}$). Esta diferencia se debe posiblemente al poco gasto energético de los organismos en el laboratorio para buscar alimento por lo que destinan la mayor parte de su energía para crecer. Los erizos del medio natural tienen un gasto energético importante en la búsqueda de su alimento, escape de depredadores y por condiciones oceanográficas adversas.

La constante de crecimiento k (año^{-1}) estimada para el erizo rojo se ha reportado entre 0.18 a 0.24 (Tabla 1).

TABLA 1

Estimaciones de los parámetros de crecimiento de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en California, EU y Baja California, México

Referencia	Localidad	Tipo de estudio	k	L_{∞} (mm)
Baker (1973)	San Diego, Cal.	Silvestre	0.215	110.30
Palleiro-Nayar (1982)	Santo Tomás, BC	Silvestre	0.189	109.50
Ebert <i>et al.</i> (1999)	Norte California	Silvestre	0.130	144.00
Morgan <i>et al.</i> (2000)	Norte California	Silvestre	0.240	116.00
Palleiro-Nayar <i>et al.</i> (2009)	A. Sacramento	Silvestre	0.180	118.98
Palleiro-Nayar <i>et al.</i> (2009)	Ensenada, BC	Laboratorio	0.240	89.25

Reproducción y reclutamiento

El erizo rojo es un organismo dioico¹, con fecundación externa y que no presenta dimorfismo² sexual. Su aparato reproductor está constituido por cinco gónadas unidas por mesenterios en la parte interna de su caparazón. La época de desove en Baja California ocurre de febrero a mayo y la talla de primera madurez se alcanza entre 50 y 55 mm de diámetro de caparazón (Ruíz-López *et al.* 1987, Urías-González 1994). Al igual que un gran número de invertebrados marinos, produce larvas planctónicas durante su ciclo de vida. Para la mayoría de las especies con larvas planctónicas, el acoplar la época de desove con una disponibilidad de alimento para sus larvas (afloramientos de fitoplancton) es fundamental, siendo una estrategia para su sobrevivencia. Se ha documentado en experimentos de laboratorio, que concentraciones altas de ciertas especies de diatomeas pueden inducir el desove de erizos (Starr *et al.* 1990). La permanencia de la larva de erizo en el plancton puede ser de uno a dos meses (Ebert y Southon 2003), para posteriormente realizar su metamorfosis y asentarse. Cameron y Schroeter (1980) reportaron que en cautiverio, a una temperatura de 12 °C, el asentamiento ocurrió entre los 40 y 50 días.

Existen diferentes hipótesis sobre el mecanismo que tiene la larva de erizo para seleccionar el sustrato donde se va a asentar. La mayoría de los

1. Dioico: Sexos separados
2. Dimorfismo: Diferencia anatómica

investigadores coinciden en que la señal puede ser un estímulo químico como: aminoácidos (Pearce y Scheibling 1990), histaminas (Swanson *et al.* 2004) o lípidos (Takahashi *et al.* 2002), los cuales pueden encontrarse en el microfilm de las rocas o en algas calcáreas, verdes y rojas. Sin embargo, de acuerdo con experimentos de laboratorio, Cameron y Schroeter (1980) concluyen que las larvas de los erizos rojos y morados se pueden asentar en cualquier sustrato disponible, cuando es inminente iniciar su metamorfosis, y mencionan que la mortalidad post-asentamiento es el elemento más importante en el proceso de reclutamiento a la población.

El reclutamiento de erizo rojo es muy variable y depende de las condiciones oceanográficas de la zona, como son los patrones de corrientes, surgencias y giros costeros (Botsford 2001, Wing *et al.* 2003). En el estado de California, principalmente en el norte, se ha observado mayor asentamiento de erizo en los periodos de relajación de las surgencias (Wing *et al.* 1995a, Morgan *et al.* 2000). El reclutamiento anual del erizo rojo es bajo y muy variable en Columbia Británica, Washington y Oregon (Miller y Emler 1997) comparado con las poblaciones del norte y sur de California donde tienen mayor aporte de reclutas (Tegner y Dayton 1981, Ebert 1983, Wing *et al.* 1995b, Morgan *et al.* 2000).

La mortalidad post-asentamiento es alta, ya que existen varios depredadores de erizo juvenil, como los cangrejos *Cancer spp.*, las estrellas de mar *Patiria miniata* (Brandt 1835), *Astrometis sertulifera* (Xantus 1860), *Pycnopodia helianthoides* (Brandt 1835), *Dermasterias imbricata* (Grube 1857) y la langosta roja *Panulirus interruptus* (Ryall 1840). También los consumen algunos peces como la vieja *Semicossyphus pulcher* (Ayres 1854), considerada por varios autores como el principal depredador de erizos juveniles en el sur de California (Tegner y Dayton 1981, Cowen 1983). Para evitar la mortalidad post-asentamiento, los juveniles de erizo rojo se protegen bajo las espinas de los erizos adultos. Esta asociación de juveniles y adultos de erizo rojo la reportaron por primera vez Tegner y Dayton en 1977 y ha recibido mucho interés por varios autores (Tegner y Dayton 1981, Nishizaki y Ackerman 2006).

El porcentaje de ocurrencia de protección bajo las espinas de los erizos rojos adultos puede variar. Rogers-Bennett *et al.* (1995) observaron que la asociación de protección de juveniles-adultos de erizo rojo en Bodega Head California, EU, fue de 28%, a una profundidad de 5 m y, a 11 m de

profundidad fue de tan sólo 2%, sugiriendo que el reclutamiento es más alto en aguas someras y asociado a la presencia de adultos. Un patrón muy similar se observó para el erizo *Paracentrotus lividus* (Lamarck 1816) en donde el asentamiento fue mayor en cinco metros y menor en 10 m de profundidad (Hereu *et al.* 2004).

Los erizos juveniles que se protegen bajo las espinas de los erizos adultos tienen otras dos ventajas: aprovechan las algas que colecta el adulto para alimentarse y el dosel provee un refugio hidrodinámico, reduciéndose hasta 60% la velocidad del flujo de agua para evitar su desprendimiento del sustrato (Nishizaki y Ackerman 2006).

Hábitat y relaciones ecológicas

En la costa occidental de Baja California se encuentran distribuidas cuatro especies de erizo *Centrostephanus coronatus* (Verill 1867), *Lytechinus anamesus* Clark 1912, *Strongylocentrotus franciscanus* y *Strongylocentrotus purpuratus*; sólo las dos últimas especies tienen importancia comercial.

Desde la perspectiva del aspecto ecológico, la relación entre los erizos rojo y morado es muy importante para la estabilidad de la comunidad que habita los mantos de alga marina café *Macrocystis pyrifera*, conformados por especies de importancia comercial como la langosta roja *Panulirus interruptus*, abulones *Haliotis* spp., caracoles *Astraea* spp., pepino de mar *Parastichopus parvimensis*, entre otras (Kato y Schroeter 1985).

El erizo morado es el principal competidor del rojo por espacio y alimento, ya que ambas especies se encuentran en el sustrato rocoso, en particular en cuevas y hendiduras de rocas. La competencia por espacio tiene un papel muy importante en la distribución y la abundancia del erizo morado, ya que aunque la distribución de las dos especies de erizo se traslapa, el morado domina en las zonas intermareal y submareal porque resiste los cambios fisicoquímicos y la acción del oleaje, mientras que el rojo es más abundante más allá de los cinco metros de profundidad (Tegner 2001). En este sentido, se han realizado varios estudios con objeto de establecer la relación entre la disponibilidad de alimento con el comportamiento y la fisiología de los erizos, así como con la estructura de la comunidad que habita los mantos de algas (Matitison *et al.* 1977, Tegner 2001). El erizo rojo prefiere consumir las frondas de *Macrocystis* y cuando

la comida es abundante se mueve muy poco. Por el contrario, el erizo morado ataca el rizoide³ de *Macrocystis*, desprendiendo toda la planta, por lo que es capaz de acabar con los mantos incluso cuando ésta es muy abundante (Kenner 1992). En esta situación de competencia por espacio, la pesca comercial casi exclusiva de erizo rojo ha propiciado que el morado amplíe su área de distribución a profundidades donde estaba limitado por el rojo hasta 25 m de profundidad (Kato y Schroeter 1985, Palleiro-Nayar 2004, Salgado-Rogel *et al.* 2003). En la literatura se ha reportado su presencia hasta los 64 m de profundidad (McCauley y Carey 1967).

Situación actual del recurso

Las poblaciones de erizo rojo *S. franciscanus* en Norteamérica han estado sujetas a una explotación comercial desde la década de los setenta en los estados de Baja California, México; California, Oregon, Washington y Alaska en EU, así como en Columbia Británica, Canadá. Recientemente se ha observado una disminución notable en las capturas y en su densidad poblacional, por la alta presión de pesca ejercida en todos los sitios mencionados (Andrew *et al.* 2002).

El precio de la gónada de erizo rojo ha disminuido de forma considerable, ya que hace algunas temporadas los distribuidores en Ensenada lo pagaban entre 40 y 50 dólares por kilogramo (Palleiro-Nayar 2004) y en 2011 el precio fue de 25 a 28 dólares/kg. También ha disminuido el número de plantas procesadoras de 25 que había en el año 2000, a 12 en 2011, por lo que el número de empleados bajó de aproximadamente 1 000 a 550.

Capturas históricas

La captura del erizo rojo inició en 1972 en Baja California, y alcanzó en 1979 su primer punto máximo con 5 700 t de peso entero (Fig. 4). Posteriormente, durante el periodo 1980-1983 se observó un descenso en las

3. Rizoide: Órgano de fijación del alga al sustrato

capturas (1 000 t) que se atribuyó a un efecto combinado del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en 1982-1983 al propiciar una baja calidad de sus gónadas por falta de alimento y una disminución considerable de su precio en el mercado japonés (Palleiro-Nayar *et al.* 1988). En 1986 se presentó la captura histórica más alta con 8 500 t, hasta disminuir en 1998 a 806 t, hecho atribuible nuevamente al ENOS (1997-1998). Desde entonces ha fluctuado alrededor de 2 000 t en los últimos años (Fig. 4).

La captura máxima reportada de erizo morado ha sido de 815 t en 1996 disminuyendo a 80 t de peso vivo en 2010 (Figs. 4 y 5). Estas bajas capturas se deben a la calidad de sus gónadas, que no son aceptadas en el mercado por presentar coloración café y poco rendimiento. Aunque la disponibilidad de erizo morado es muy alta con densidades de hasta 80 erizos por metro cuadrado.

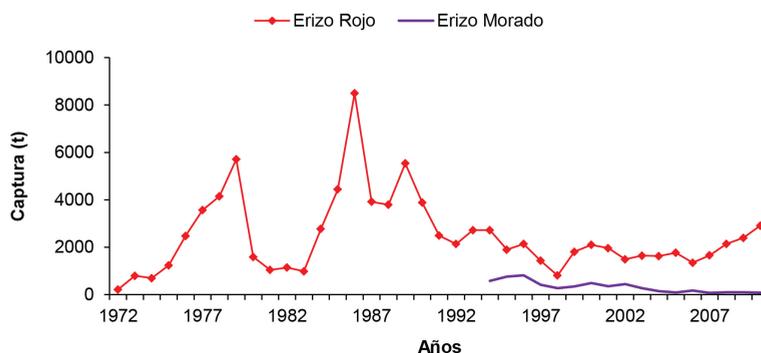


FIG. 4. Captura de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* y erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en Baja California.

Equipos de pesca

El número de equipos utilizados en la pesca del erizo rojo, registrado desde 1979, fue de 110, y disminuyó en el periodo 1980-1985. Se duplicó en 1985 (220 equipos) y se incrementó hasta 320 en 1988; en los últimos años se ha estabilizado en 220 equipos (Fig. 6).

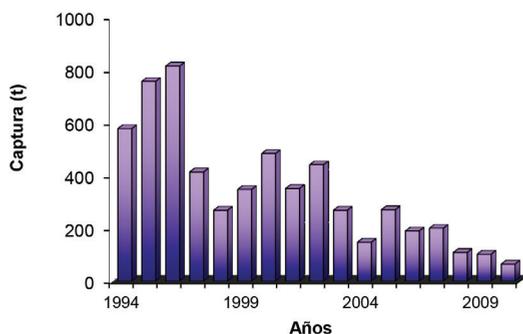


FIG. 5. Captura total de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en Baja California.

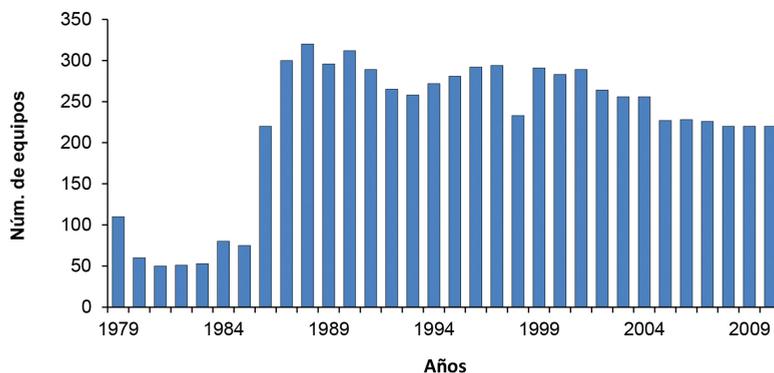


FIG. 6. Equipos autorizados en la captura de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California.

El número de equipos dedicados a la captura de erizo morado ha variado entre 50 y 70 embarcaciones.

Esfuerzo y captura por unidad de esfuerzo (CPUE)

La unidad de esfuerzo utilizada para analizar las pesquerías de erizo es el día de trabajo, conocida por los pescadores como “marea”; dicha información se ha obtenido desde 1988, año en que se inició la entrega de la bitácora de pesca por los productores.

Esfuerzo (día)

El esfuerzo promedio anual en la pesquería de erizo rojo ha sido de 14 607 días en el periodo de 1988 a 2009; pero en 1998 fue de sólo 8 274 días (Fig. 7) dado que por El Niño (1997-1998) la disponibilidad de algas fue menor y bajó la calidad de la gónada de erizo rojo, por lo que la intensidad de pesca también se redujo.

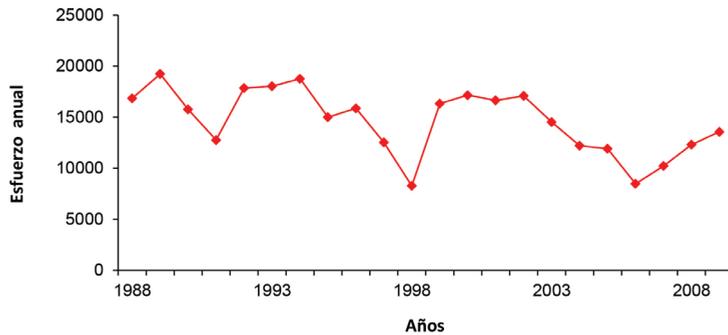


FIG. 7. Esfuerzo (días) anual dedicado a la captura de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California.

CPUE (kg/día)

La CPUE de la pesquería de erizo ha fluctuado de 300 kg/día en 1988 a 87 kg/día en 2002 (Fig. 8), incrementándose hasta llegar a 180 kg/día en 2010. Este incremento es muy posible que se deba a que aumentó el número de horas de buceo hasta en 50% (según comunicación con los buzos ericeros) y no al aumento de la disponibilidad del recurso.

Por ello resulta necesario tener información de las horas de búsqueda y extracción de erizo, para poder contar con una mejor medida de la unidad de esfuerzo y relacionarla con la abundancia relativa del recurso.

El mayor esfuerzo dedicado a la extracción del erizo morado fue en el año 2002 con 3 510 días y el más bajo en 2005 con 751 días (Fig. 9) en el periodo de 1994 a 2006 (Palleiro-Nayar *et al.* 2008).

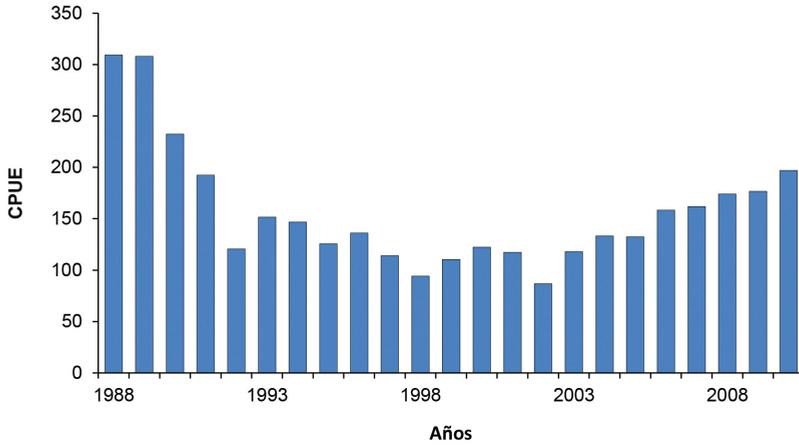


FIG. 8. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California.

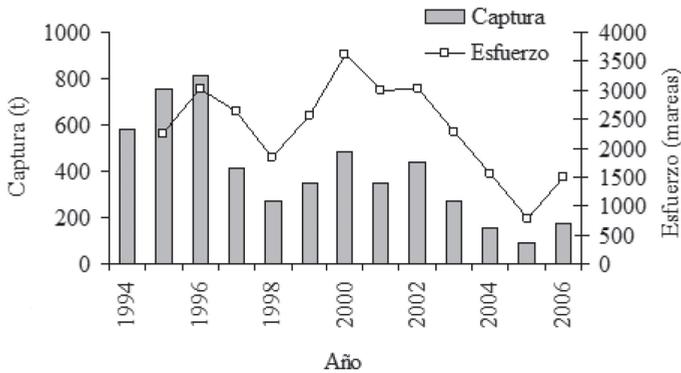


FIG. 9. Captura y esfuerzo de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en Baja California.

La CPUE del erizo morado ha fluctuado de 80 kg/marea a 150 kg/marea en los años de 1995 a 2005 (Fig. 10).

Muestras de captura comercial

Los muestreos de la captura comercial de erizo rojo se realizaron en las plantas procesadoras ubicadas sobre todo en Ensenada, San Quintín y El

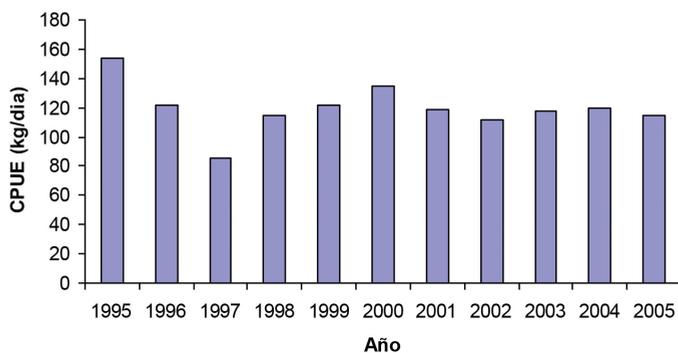


FIG. 10. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* en Baja California.

Rosario, así como en diversos campos pesqueros. En la *tabla 2* se observa la información de las últimas 11 temporadas de captura.

TABLA 2

Resultado de los muestreos en planta de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* durante las últimas diez temporadas de captura en Baja California (muestreos efectuados por personal del CRIP Ensenada)

Año	Talla Promedio (mm)	Desviación estándar	Porcentaje de talla sublegal	Número de organismos muestreados
2000	79.46	10.20	51.48	14 861
2001	84.37	9.80	39.66	11 394
2002	89.70	10.10	17.76	22 783
2003	90.39	10.50	12.61	10 655
2004	87.67	10.87	19.19	17 233
2005	90.27	10.77	13.45	30 578
2006	92.09	11.89	10.15	22 966
2007	90.57	13.06	6.59	5 581
2008	89.07	11.29	3.89	21 704
2009	92.28	12.60	12.66	24 248
2010	94.32	13.49	8.57	23 785

El porcentaje de tallas de erizo rojo abajo de la talla mínima legal de 80 mm de diámetro de caparazón ha fluctuado entre 4.0 y 52.0 de los muestreados en las plantas de proceso (Fig. 11). En los primeros registros ésta

oscilaba alrededor de 12%, pero se fue incrementando paulatinamente hasta alcanzar 52% en el año 2000. A partir de dicho año se observa que esta incidencia baja poco a poco. En 2008 se detectó la incidencia más baja con cerca de 4% de individuos de talla menor a la permitida, en datos monitoreados de 21 704 individuos de erizo rojo de la captura comercial. En 2010 la incidencia de tallas sublegales fue de 8.57 por ciento.

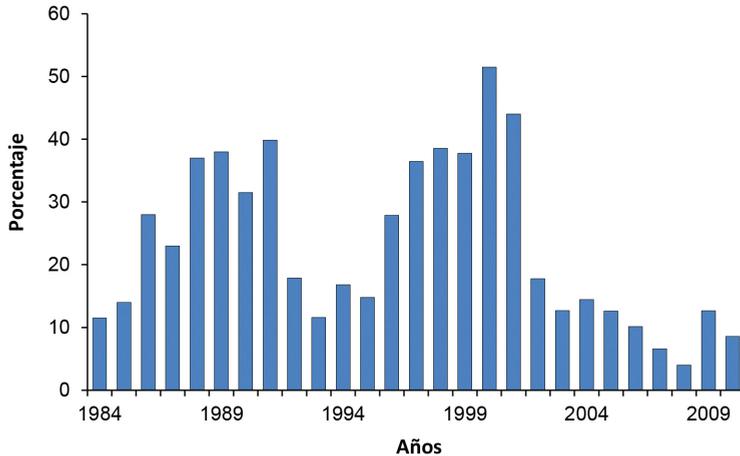


FIG. 11. Porcentaje de tallas sublegales de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en muestreos en planta.

La distribución de tallas de erizo rojo muestreado en plantas de proceso durante 2010 se presenta en la *figura 12*.

Mortalidad por pesca

Para cada temporada de pesca se estimaron la tasa de mortalidad instantánea y la talla de reclutamiento de la pesquería con base en los muestreos de erizo rojo en las plantas procesadoras del estado de Baja California. La tasa instantánea de mortalidad por pesca (F) ha fluctuado entre $F = 0.45$ en la temporada 1996 a $F = 1.23$ en 1999; en 2010 la tasa de mortalidad por pesca fue de $F = 0.64$ (Fig. 13).

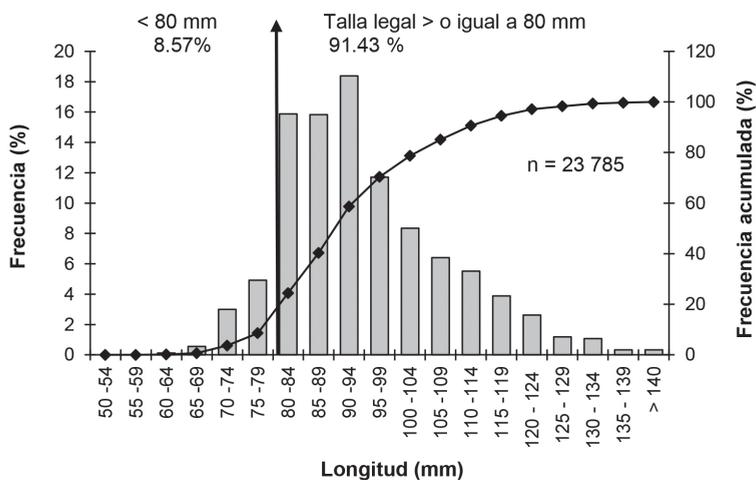


FIG. 12. Distribución de tallas de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* proveniente de la captura comercial muestreos realizados durante 2010.

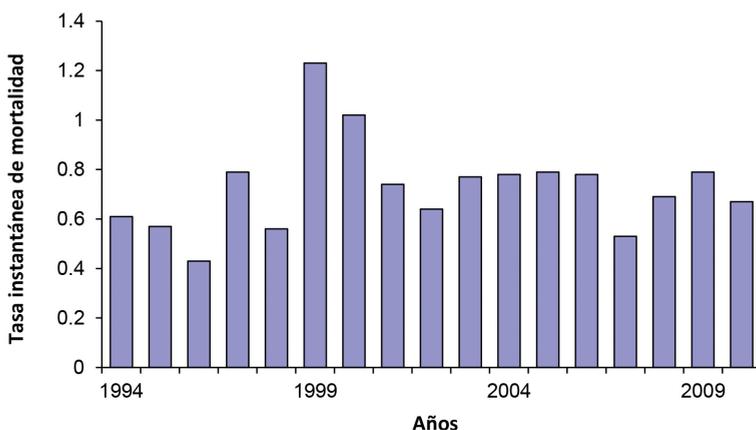


FIG. 13. Tasa instantánea de mortalidad por pesca de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California.

La tasa instantánea de mortalidad por pesca anual (F) se puede convertir a porcentaje de mortalidad anual por pesca por medio de la ecuación:

$$\% \text{ de mortalidad por pesca anual} = (1 - e^{-F} / e^{-F}) \cdot 100$$

Una tasa de mortalidad por pesca $F = 0.64$ (como la estimada en 2010) significa una tasa de mortalidad anual de 58% (con la aclaración que esta estimación es con base en la información de los muestreos de captura comercial).

Estimaciones de la densidad poblacional

Para la estimación de la densidad de población de erizos rojo y morado se utilizó un método de muestreo aleatorio; la selección del área de muestreo la efectuaron los propios pescadores, quienes conocen sus lugares de captura (esto es importante, ya que el hábitat es heterogéneo y el erizo se distribuye en parches); la unidad de muestreo fue de 20 m x 2 m (20 m²).

El número de estaciones muestreadas por localidad varió entre 10 y 30, dependiendo del área de ocurrencia de los bancos de erizo para cada zona y de fijar un error estándar máximo de 15% para la estimación de la densidad. En cada estación se contaron todos los erizos rojos y morados encontrados en 20 metros cuadrados.

Se determinó la ubicación geográfica de cada estación por medio de un geoposicionador satelital. La profundidad de los trabajos de muestreo fue entre los 5 m y los 25 m, en áreas colindantes con los mantos de la alga café *M. pyrifera*.

En la *tabla 3* se presentan los resultados de las estimaciones de las densidades de erizos rojo y morado, realizadas en 31 localidades donde se efectúa la pesca comercial. Se puede observar que en varias localidades la densidad del morado fue mayor a la del rojo, por la menor intensidad de su pesca (ya que la calidad de las gónadas del erizo morado no cumplen con los requerimientos de color y textura del mercado japonés) y por el incremento poblacional del morado que ha ocupado el nicho ecológico del erizo rojo incluso hasta los 20 m de profundidad, donde hace 15 años no se veía un solo erizo morado de acuerdo con las evaluaciones realizadas por el CRIP Ensenada.

TABLA 3
 Número de erizos por área en Baja California, entre
 el 26 de agosto de 2005 al 15 de junio de 2006

<i>Localidad</i>	<i>Densidad erizo rojo m²</i>	<i>Densidad erizo morado m²</i>
Isla Coronado Norte	3.47	9.10
Isla Coronado de Enmedio	3.70	7.33
Isla Coronado Sur	1.50	12.87
Bajo Coronados	2.29	0.94
Popotla	3.13	7.03
Popotla Sur	1.52	2.61
Puerto Nuevo	0.72	0.29
Campo López	1.71	0.14
Campo López Sur	1.40	0.12
La Salina	1.55	5.45
Jatay	2.20	6.51
El Mirador	1.74	8.19
San Miguel	0.96	0.05
El Bajo San Miguel	2.28	0.93
Isla Todos Santos	2.00	3.60
Punta Banda	3.67	0.12
Cantú	5.58	11.04
Santo Tomás	1.91	0.13
Santo Tomás Sur	2.22	0.14
La Calavera	2.16	0.76
Eréndira	3.82	3.78
Punta Colonet	0.39	0.00
San Jacinto	1.79	0.47
Norte de San Quintín	0.41	0.18
Punta San Quintín	0.625	8.92
Isla San Martín	2.51	4.36
Valle Tranquilo (Sur)	0.20	0.00
Bahía El Rosario	1.29	2.93
Isla San Jerónimo	7.81	6.05
Arrecife Sacramento	8.50	8.27
Campo Nuevo	2.87	0.54

Estrategia de manejo

Erizo rojo. En 1986, personal del proyecto “Erizo del Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada”, propuso las primeras medidas de

manejo de la pesquería de erizo rojo, que se instrumentaron en 1987, siendo: talla mínima de captura de 80 mm de diámetro de caparazón y una época de veda de tres meses, que años después se amplió a cuatro meses (marzo a junio).

En 1989 se estableció un sistema de cuotas que en sus inicios fue global, después por zona de pesca y por productor. Las cuotas se determinaron por medio de la estimación de la biomasa con un modelo Dinámico de Producción Excedente de Schaefer Modificado (Cota-Villavicencio *et al.* 2000). De la biomasa disponible se decidió que sólo 15% puede ser capturado. Este sistema de manejo funcionó hasta 2006, año en que se dejó de utilizar debido a que los productores no reportaban la captura para no agotar la cuota establecida. El CRIP Ensenada decidió cambiar la estrategia, y propuso a los productores la realización de una evaluación del recurso antes de empezar la temporada de captura para determinar la densidad de erizo rojo en cada área de pesca. Cuando la densidad fuese menor a dos erizos rojos por metro cuadrado se recomendaría su cierre temporal (Salgado-Rogel y Palleiro-Nayar 2008).

Reglamentación vigente

La Norma Oficial Mexicana NOM-007-PESC-1993 (DOF 1993) reglamenta sobre todo las actividades de extracción del erizo rojo como la talla mínima de captura de 80 mm de diámetro de caparazón, el buceo con gacho como método de captura con colecta manual de los organismos, la entrega de erizo entero en la planta de proceso, ya que se prohíbe la extracción de gónada a bordo de la embarcación o en playa, entrega de bitácora diaria de pesca, así como especificaciones de la embarcación y composición de la tripulación.

La Norma Oficial Mexicana NOM-007-PESC-1993 (DOF 1993) establece una época de veda de marzo a junio de cada año. La Carta Nacional Pesquera, instrumento jurídico normativo, menciona que la pesquería de erizo rojo está en proceso de deterioro, ya que desde 1987 su biomasa está por debajo del valor de su máxima productividad (Cota-Villavicencio *et al.* 2000). Otros indicadores, como la densidad poblacional, el volumen total de captura y la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), presentan tendencias

de marcado decaimiento en comparación con los datos de 1988 a la fecha (Palleiro-Nayar *et al.* 2003, Salgado-Rogel *et al.* 2003, Salgado-Rogel *et al.* 2003).

El erizo morado no tiene una reglamentación para su extracción. En 2004 se elaboró un Plan de Manejo para las pesquerías de erizo rojo y morado en Baja California (Salgado-Rogel *et al.* 2003), donde se define que es factible incrementar la captura de esta especie, ya que hay evidencias de mayor disponibilidad al ocupar el espacio que ha dejado el erizo rojo por su alta presión de pesca. Por ello, y porque con base en las estimaciones de la densidad poblacional se considera que está sub-explotado (Palleiro-Nayar *et al.* 2008), se recomendó impulsar su pesca.

Propuestas de manejo

Las bajas capturas comerciales del erizo morado y la menor presión de competencia por espacio y alimento con el erizo rojo debido a la intensa pesca y a la disminución de sus depredadores (langostas, cangrejos, estrellas de mar y peces), ha provocado un incremento en su población en muchas localidades, incluso a profundidades de 10 m a 15 m, en donde no se les observaba hace 15 años, ya que su distribución estaba restringida a la zona entre mareas y como máximo a cinco metros de profundidad. En algunas localidades, las elevadas densidades de erizo morado ya están afectando a los mantos del alga café *M. pyrifera*, como en isla San Jerónimo donde hay áreas sin macroalgas y sólo se observan grandes extensiones de erizo morado sobre rocas sin macroalgas (Palleiro-Nayar *et al.* 2008).

Para la pesquería de erizo rojo se proponen las siguientes medidas de manejo:

- Continuar las evaluaciones del recurso que realiza el personal del CRIP Ensenada, para tener mejor conocimiento de la dinámica de la población.
- Cerrar las áreas de captura con densidades menores a dos erizos rojos por metro cuadrado.
- Respetar la talla mínima de captura de erizo rojo y que no se rebase una tolerancia de 5% de captura de tallas menores a 80 mm de diámetro de caparazón.

- Motivar a los productores a entregar información fidedigna de sus actividades de captura en los avisos de arribo y en la bitácora diaria de pesca.
- No aumentar el número de equipos de pesca en ninguna zona, ya que se encuentra sobredimensionado y los permisionarios que se retiren de la pesquería, no deben ser sustituidos.
- Rotar los bancos de extracción en cada área de operación para que se mantengan densidades de adultos que puedan proporcionar refugio a los erizos recién asentados.
- Incrementar la captura de erizo morado en todas las zonas de captura de erizo rojo, ya que se ha detectado gran abundancia de aquél.
- Otorgar concesiones para la captura de erizos rojo y morado, a los permisionarios que han realizado la pesca responsable, con esto tendrían seguridad jurídica y un mayor compromiso en la conservación del recurso.

Comercialización

En Baja California operan 12 plantas de proceso de gónada de erizo y varias compañías que se dedican a la exportación del producto sobre todo en caja de madera o plástico de 80 g a 300 gramos.

A los pescadores se les paga en función de la cantidad y la calidad de la gónada entregada en la planta.

Mercado interno

No existe mercado interno para la gónada de erizo.

Mercado externo

La totalidad de la producción se exporta a Japón; primero se introduce refrigerado en camión al estado de California y luego se envía por vía aérea desde el aeropuerto de Los Ángeles, California. Por tal motivo se consultaron las bases de datos del Departamento de Comercio de Estados Unidos para saber la cantidad de gónada de erizo importada y el valor declarado para los años de 2002 a 2009 (Tabla 4). Es importante hacer notar que

estos datos son para la gónada de erizos rojo y morado, y no se puede saber cuánto corresponde a cada especie, aunque la captura del morado es menos de 10% de la captura total de erizo en Baja California.

TABLA 4
 Datos de la importación temporal de gónada de erizo
 a Estados Unidos proveniente de México

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Gónada de erizo (kg)	180 548	140 672	137 861	135 612	79 538	98 868	81 567	59 990
Valor (dólares)	4'112 333	2'672 586	2'576 007	3'034 149	1'988 794	2'593 281	1'802 075	1'268 269
Precio unitario (kg/dls)	22.77	18.99	18.68	22.37	25	26.26	22.09	21.49

Fuente: Departamento de Comercio de EU.

En el mercado japonés se presentan grandes variaciones en el precio de la gónada de erizo, en función de la oferta y la demanda; varios países la exportan a Japón, principalmente Chile, Estados Unidos, Canadá, Corea, Rusia, China, entre otros.

La pesquería y el manejo del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en la costa occidental de Baja California

Ma. de Lourdes Salgado-Rogel
Julio Said Palleiro-Nayar
Ernesto Chávez-Ortiz
David Aguilar-Montero
Itzel Ortega-Salgado
José Luis Rivera-Ulloa

En Baja California se inició formalmente la captura del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* (Clark 1913) en 1989 por pescadores que extraen en su mayoría erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* y erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus*, quienes frecuentan las mismas zonas de pesca en donde utilizan los mismos equipos y sistema de captura (buceo semiautónomo tipo Hooka). Cada embarcación es operada por tres tripulantes: motorista, cabo de vida y un buzo. Su pesca está limitada a la costa del Pacífico, desde Ensenada, Baja California, hasta Bahía Asunción, Baja California Sur. En la entidad sureña se sigue el esquema de pesca de fomento, mientras que en Baja California es de tipo comercial. En México el pepino de mar *P. parvimensis* está exento de la

NOM-059-ECOL-2001 que incluye a las especies con protección especial (DOF 2002). Sin embargo, la Carta Nacional Pesquera (DOF 2010), instrumento jurídico normativo, menciona que la pesquería de pepino de mar está en proceso de deterioro y que los lineamientos de manejo deben estar basados en cuotas de captura, con la extracción de 10% de la biomasa explotable, su pesca debe ser diurna y es conveniente desarrollar su cultivo.

Estudios realizados por el personal del proyecto de investigación “Pepino de mar” del CRIP Ensenada hicieron evaluaciones periódicas de la abundancia (en ind · m⁻¹) en las principales zonas de pesca, por lo menos cada dos años. Esta evaluación orienta el manejo de la pesquería hacia la asignación de las cuotas de captura con mayor certeza, la aplicación de modelos para analizar diferentes estrategias y opciones de manejo por zona de captura, con el método de simulación bayesiano. En la actualidad se trabaja con un modelo bioeconómico para la estimación de biomasa con investigadores del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR) La Paz BCS (Chávez *et al.* 2011). Dicho modelo estudia la dinámica poblacional para determinar la frecuencia y la variabilidad en el reclutamiento, mediante el análisis de datos biométricos periódicos en campo, con la finalidad de conocer el índice de producción de organismos que se incorporaron a la población y relacionarlos con los indicadores de explotación que se tienen, para utilizarlo como un punto de referencia biológico. Además se están iniciando estudios socioeconómicos que aporten datos sobre el costo-beneficio de esta pesquería y otros que impulsen la independencia en la comercialización, para que los productores incursionen directamente en los mercados de China y Hong Kong, con definición del origen del producto y se contemple su comercialización en otros países asiáticos.

Una contribución muy importante fue la actualización de la ficha de la pesquería de este pepino en la Carta Nacional Pesquera (DOF 2010), donde se incorporaron nuevas medidas de manejo como el establecimiento del peso como una medida de control para evitar la captura de juveniles.

Biología

El pepino de mar *Parastichopus parvimensis* (Fig. 1) es un equinodermo que pertenece a la clase Holothuroidea, al orden Aspidochirotida y a la

familia Stichopodidae. Estos organismos son un componente muy importante de las comunidades bentónicas de la zona submareal, ya que reciclan los nutrientes y “limpian” el ambiente (Yingst 1982). Son dioicos⁴ y la proporción sexual es de 1:1 (hembra:macho) durante la etapa reproductiva. Su madurez gonádica varía latitudinalmente; en la costa occidental de Baja California, en las poblaciones de las bahías de Todos Santos y del Rosario, se presenta en el lapso primavera-verano, con picos de máxima liberación de gametos en el verano (Tapia-Vázquez *et al.* 1994), mientras que en Isla Natividad y en Bahía Tortugas, localizadas en el centro de la península, su etapa reproductiva ocurre en invierno-primavera (Fajardo-León *et al.* 2008).



FIG. 1. Pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en Baja California.

En las poblaciones del norte de la península, las gónadas completamente desarrolladas se observan en individuos cuyo peso varía entre 120 g y 160 g de peso corporal (Pérez-Plascencia 1995, Espinoza-Montes 2000, Fajardo-León *et al.* 2008) y comienzan a reproducirse alrededor de los dos años de vida (Pérez-Plascencia 1995).

Existe poca información sobre su dinámica poblacional. Muscat (1982) menciona que el reclutamiento es esporádico y que la mortalidad natural es muy alta, mientras que Schroeter *et al.* (2001) encontraron variaciones entre localidades en la densidad de este pepino en California, EU; donde registraron los valores más altos en primavera y los más bajos durante el otoño. En Baja California también se encontraron diferencias significativas

4. Dioico: especie que tiene los órganos sexuales femenino y masculino en individuos separados.

en la distribución y la abundancia de este pepino, con una tendencia decreciente en la serie de datos históricos de la captura total, por zona de pesca y CPUE, y están relacionadas con un esfuerzo elevado (Salgado-Rogel *et al.* 2009).

Especies de pepino de mar, almacenan sustancias tóxicas que utilizan para defenderse de sus depredadores, pero *P. parvimensis* está libre de ellas y por ello es una de las especies para consumo humano apreciadas en países asiáticos.

Captura y esfuerzo

El pepino de mar *P. parvimensis* se explota desde islotes Coronado hasta la región de Punta Blanca al sur de la delegación municipal El Rosario entre 32° 30' a 29° 00' N. Para la investigación de esta pesquería y su administración se considera la misma nomenclatura que la utilizada para la pesquería del erizo de mar, ya que los usuarios de este recurso son en su mayoría permisionarios de erizos rojo y morado, que frecuentan las mismas zonas de pesca, y utilizan los mismos equipos y sistema de captura. La administración de esta pesquería se divide en cuatro zonas tradicionales de pesca de norte a sur respectivamente; Zona Administrativa de Pesca I (ZAP I) se localiza desde la frontera con EU hasta Punta Banda, la ZAP II de Punta Banda a Punta Colonet, la ZAP III de Punta Colonet al Socorro y la ZAP IV del Socorro a Punta Blanca (Fig. 2).

La captura de este pepino de mar inició en la costa occidental de Baja California en 1989 con 53 toneladas. Se incrementó de forma paulatina hasta 1992, cuando se obtuvo la captura total máxima de 723 t (Fig. 3). En la serie histórica se observa repunte importante en 1996 (637 t); después de ese año, la tendencia fue negativa, hasta llegar al promedio de capturas en el último lustro de 222 toneladas.

Captura y esfuerzo por zona de pesca

La captura por zona administrativa de pesca (ZAP) empezó a registrarse en 1994. En las cuatro ZAP la producción más elevada se obtuvo en el periodo comprendido entre 1994 y 1996 (Fig. 4), y a partir de este último año



FIG. 2. Zonas de pesca para la captura de pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en Baja California.

decreció de forma paulatina, aunque con algunos pequeños incrementos, como el del año 2000.

El esfuerzo total en las cuatro ZAP es de 119 equipos con permiso para la pesca de este pepino. La ZAP IV ha sido la más productiva, con un valor máximo alcanzado en el año 1994 (425 t) y a partir de entonces disminuyó hasta alcanzar 150 t en años recientes (Fig. 4). En esta zona el esfuerzo ha sido mayor porque hay 47 equipos de pesca.

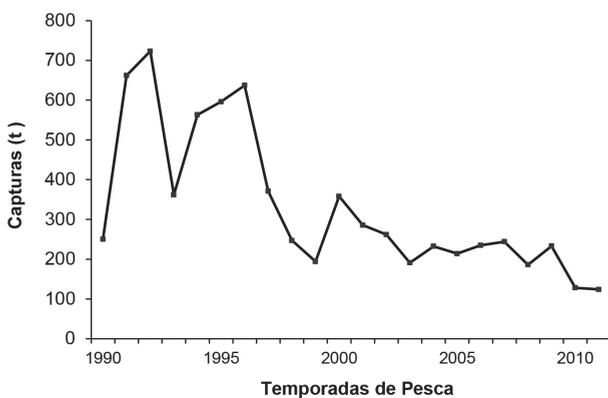


FIG. 3. Captura comercial de pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en Baja California.

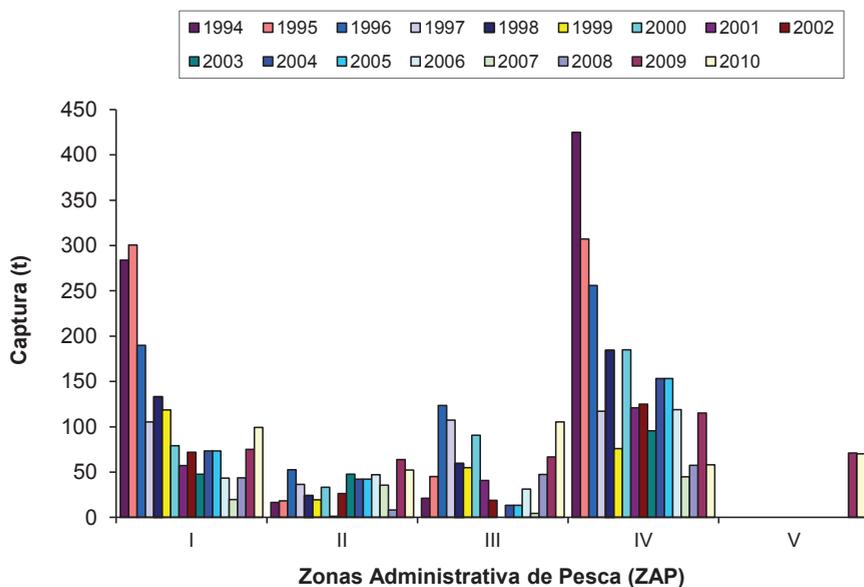


FIG. 4. Capturas de pepino de mar *Parastichopus parvimensis* por zona de pesca en Baja California.

La ZAP I ha ocupado el segundo lugar por el volumen de las capturas; la máxima producción fue de 301 t (1995), pero en los últimos cinco años los permisionarios obtuvieron en promedio 53 t. Esta ZAP también ocupa

el segundo lugar en esfuerzo de pesca, ya que hay 36 embarcaciones autorizadas en ella.

En la ZAP III, la pesca de pepino inició en 1994 y la mayor producción (123 t) se alcanzó en 1996. En el último lustro la captura promedio ha sido de alrededor de 18 t, excepto en 2003 cuando los pescadores no utilizaron el recurso; en esta ZAP hay registrados 10 equipos.

La ZAP II ha sido la menos productiva, pero las variaciones de la captura han sido menos drásticas que en las otras zonas de pesca: la máxima se reportó (61 t) en 1996 y la mínima (1.19 t) en 2001 debido a que orientaron el esfuerzo hacia otros objetivos. En años recientes, la producción promedio ha fluctuado alrededor de 45 t y en dicha zona hay 26 embarcaciones con permiso para la pesca de pepino de mar.

En el año 2009 se incorporaron datos de bitácoras de localidades de Isla de Cedros y ésta se clasificó como zona de pesca V (ZAP V).

Captura por Unidad de esfuerzo

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se definió como los kilogramos de pepino de mar obtenidos por día por embarcación ($\text{kg} \cdot (\text{día} \cdot \text{embarcación})^{-1}$). Esta variable empezó a registrarse en 1995, cuando alcanzó 139 kg; en los dos años siguientes disminuyó aproximadamente en 80%, pero repuntó entre 1998 y 2001, cuando la CPUE fue de 100 kg. Después de ese año la tendencia fue decreciente, hasta que en el último lustro el promedio fue de 55 kg (Fig. 5).

La *tabla 1* muestra el número de permisionarios y equipos autorizados para la temporada de pesca de pepino de mar durante 2010.

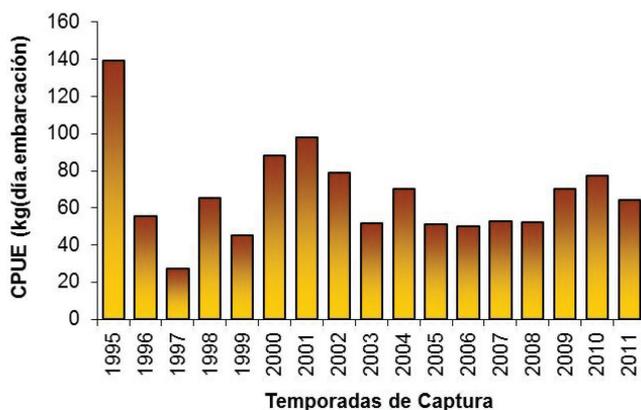


FIG. 5. Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de pepino de mar *Parastichopus parvimensis* (kg · día⁻¹) por embarcación en Baja California. Fuente: bitácoras de pesca de 35 unidades de extracción.

TABLA 1
 Participantes en la captura de pepino de mar
Parastichopus parvimensis en Baja California

Participantes	Número unidades
Cooperativas	1
Asociaciones ejidales	24
Empresas	5
Personas físicas	5
Total	35

Fuente: Subdelegación de Pesca de SAGARPA en Baja California

Análisis de la población

En este apartado se describe la abundancia del recurso en función de la densidad poblacional (D) y de la estructura de peso (g) en los principales bancos silvestres. Los datos se obtuvieron mediante buceo durante la primavera y el verano de 2010 en 12 lugares; nueve de ellos dentro de las ZAP, en áreas tradicionales de pesca: norte de islas Todos Santos, Santo Tomás, La Calavera, Punta Colonet, norte de Punta Baja (ubicada al oeste de El Rosario), bahía El Rosario y sur de Punta Baja.

Los otros tres lugares están fuera de las ZAP: el primero en isla Guadalupe, que aunque es de acceso restringido, tiene vocación pesquera; el segundo en Punta Canoas y el tercero se ubica en Santa Rosalía, a más de 650 km al sur de Ensenada y no es área tradicional de pesca. Para comparar la D registrada en las 12 localidades, cada una de ellas fue considerada como tratamiento; el contraste se realizó con un modelo lineal generalizado tipo Poisson con función de enlace logarítmica que se aplica cuando la distribución de los datos no es normal y su varianza es heterogénea. Para distinguir el o los tratamientos significativamente diferentes, se hicieron comparaciones sucesivas entre éstos con la prueba de colapso de grupo incluida en el programa S-Plus (Crawley 2002). Por otro lado, la densidad promedio se representa en un mapa con el programa *Surfer 8.01*. Las densidades (D) promedio más altas se encontraron en Santa Rosalía ($0.821 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$), La Calavera ($0.670 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) y Punta Canoas ($0.650 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$), mientras que la mínima en Santo Tomás ($0.175 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) (Fig. 6). La prueba estadística detectó variaciones significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos (localidades), y con la prueba de colapso se diferenciaron dos grupos: el primero, conformado por Santa Rosalía, La Calavera y Punta canoas donde la D fue $\geq 0.65 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, mientras que en el segundo, que abarca al resto de las localidades, la D fluctuó entre 0.15 y $0.55 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$.

Los individuos recolectados en campo fueron medidos *in situ* y pesados fuera del agua. Las ecuaciones de crecimiento para peso y longitud se hicieron de acuerdo con el modelo de von Bertalanffy:

$$w_t = w_\infty [1 - (e^{K(t-t_0)})^b]$$

$$l_t = L_\infty [1 - (e^{0. K(t-t_0)})]$$

donde:

w_t y l_t son el peso y la longitud en el tiempo t (años)

w_∞ = peso

L_∞ = longitud asintótica

K = tasa intrínseca de crecimiento

t_0 = parámetro de condición inicial, cuando el crecimiento de un organismo es igual a cero

b = coeficiente de alometría

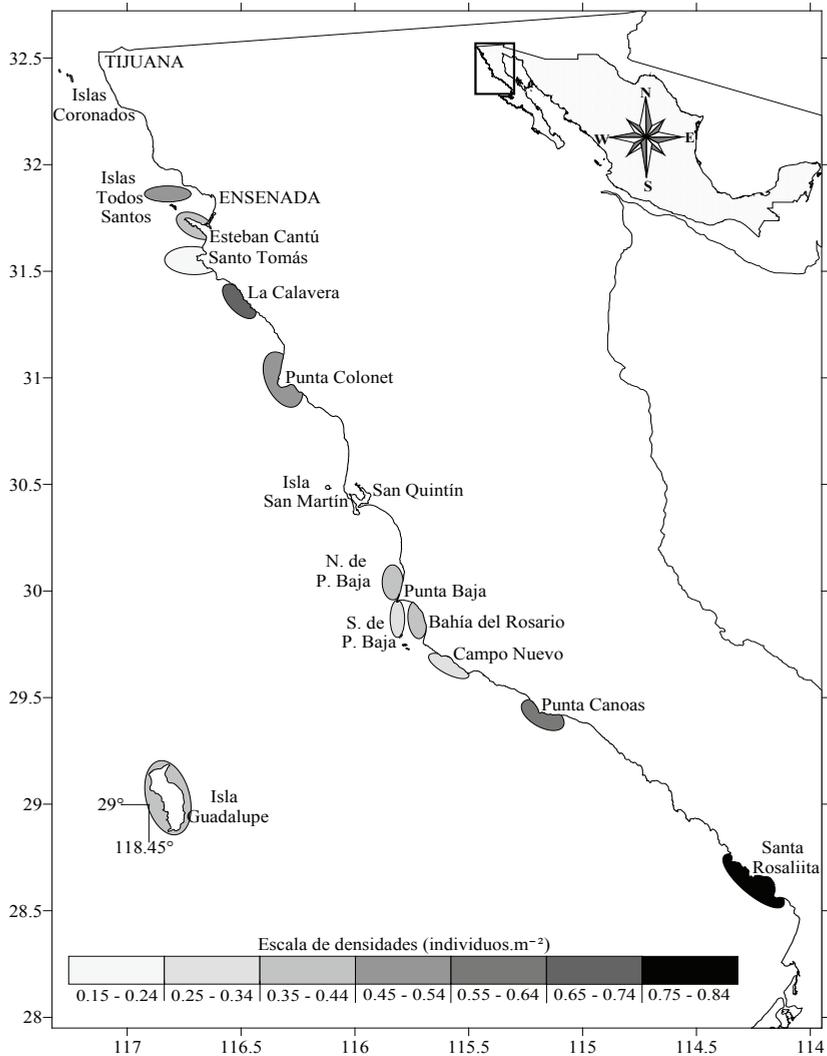


FIG. 6. Densidad promedio (ind · m⁻²) de pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en 12 localidades en Baja California.

Los intervalos de confianza de los parámetros calculados (L_{∞} , w_{∞} y K) fueron obtenidos utilizando la prueba de muestreo sin reemplazamiento calculando de nuevo cada valor n veces (dependiendo del tamaño de muestra)

e ignorando en cada caso una observación. Posteriormente se calcularon los valores de los parámetros, su promedio e intervalo de confianza. La relación peso-longitud fue significativa ($r^2 = 0.6721$; $p < 0.05$; $n = 1\ 252$) y la pendiente sugiere que la especie crece de manera alométrica negativa en la zona de estudio (Fig. 7), ya que el valor del coeficiente de alometría se aleja considerablemente de 3, que corresponde al esperado cuando el crecimiento es isométrico.

Si se considera la longevidad como aquella en que los individuos sobreviven hasta alcanzar 95% de la longitud asintótica, entonces, sustituyendo de la ecuación de von Bertalanffy $1 \cdot 0.95 L_T$, y despejando L_T se obtiene t_T . K es la tasa de crecimiento proveniente de la misma ecuación, con la fórmula:

$$t_T = 3/K$$

Estos parámetros fueron la base del modelo FISMO (Chávez 2005) para los resultados siguientes.

La mortalidad natural fue estimada utilizando el modelo descrito por Chávez y Arreguín-Sánchez (1995).

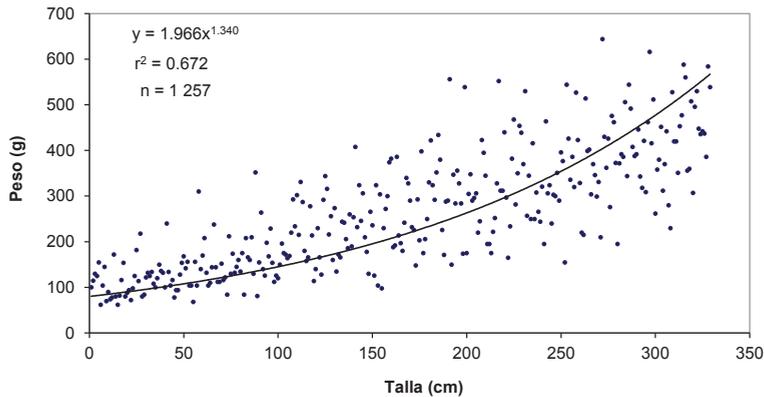


FIG. 7. La relación talla peso de individuos *in situ* explica 67% de la covarianza de los datos ($b = 1.340$).

TABLA 2
Resumen de los parámetros estimados con el modelo FISMO

Región:	Baja California
Especie:	<i>Parastichopus parvimensis</i>
von Bertalanffy	
K	0.17 año ⁻¹
L _∞	39 cm
W _∞	267 g
t ₀	-0.19
a	1.9666 Parámetro longitud total-peso total
b	1.340 Parámetro longitud total-peso total
Edad de primera captura	3 años
Edad de madurez	2 años
Longevidad	18 años
M	0.2550
Phi'	2.4

Con el modelo FISMO se estimó una biomasa total en el último lustro de cerca de 4 500 t (Chávez *et al.* 2011), misma que no presentó fluctuaciones drásticas del año 2001 a 2011 (Fig. 8).

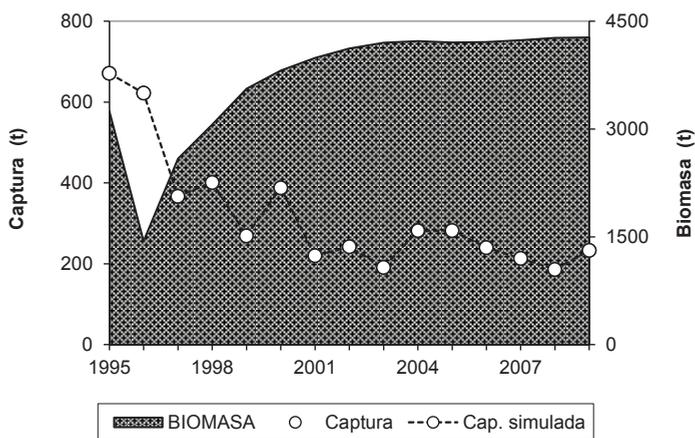


FIG. 8. Estimación de biomasa de pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en Baja California con el modelo FISMO.

Talla y peso de los ejemplares de la captura comercial

La talla y el peso de los individuos de la captura comercial en las cuatro ZAP fueron muy variables, ya que los valores mínimos y máximos fueron de 20 mm a 560 mm y 12 g a 940 g, respectivamente. La talla media se estimó de 241 ± 63.79 mm ($n = 2\ 396$); sin embargo, el ejemplar utilizado para determinar la fluctuación de esta medida arrojó una variación de ± 95.48 mm en 15 minutos. Por otro lado, el intervalo modal en la distribución de frecuencias del peso se encontró entre 80 g y 99 g ($n = 3\ 323$) y 48% de los ejemplares fue menor a 160 gramos (Fig. 8a).

Estructura de peso en bancos silvestres

En los bancos silvestres, el peso en fresco mínimo fue de 140 g, el máximo de mayor de 590 g y el promedio de 316 ± 84 g ($n = 825$). La frecuencia relativa se incrementó notoriamente a partir de los ejemplares de 251 g y la frecuencia modal correspondió al intervalo de la clase 280-300 g (Fig. 8b). Por otro lado, considerando la alta variabilidad de la talla, la mínima se estimó en 96 mm, la máxima en 694 mm y el promedio en 346 ± 99.29 milímetros.

A pesar de la relativa estabilidad en la biomasa cercana a 4 500 t, la tendencia decreciente de la abundancia relativa de este recurso, expresada en las capturas totales (Ct), captura por ZAP y la CPUE, sugiere que la población está siendo afectada por la presión de pesca y que la flota actual es grande.

El decremento en esos indicadores relativos de abundancia se traduce en mayor presión de pesca y competencia entre los pescadores, lo que eleva los costos de operación (combustible), el tiempo de trabajo y de búsqueda del recurso a mayores profundidades; todo lo cual vuelve más riesgosa la actividad. El impacto económico es importante si se considera que en 1992, cuando se alcanzó la máxima captura, la derrama económica fue de 1.85 millones de dólares, mientras que en temporadas recientes ha sido de alrededor de 0.6 millones, por lo que es necesario instrumentar estrategias de manejo, tales como establecer tamaños mínimos de captura.

En los holotúridos, la determinación de la talla es tarea complicada porque en condiciones de estrés, éstos se transforman en masas amorfas

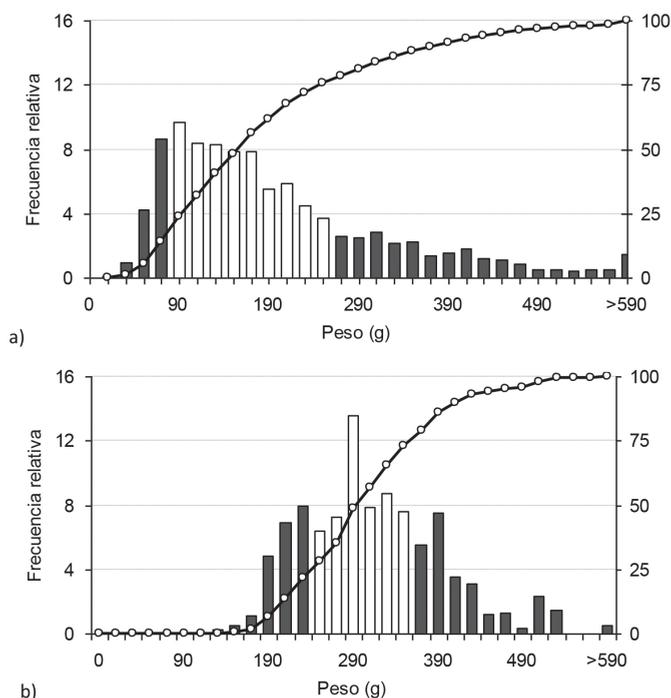


FIG. 9. Estructura de peso (g) de los ejemplares de *Parastichopus parvimensis* obtenidos de: a) la captura comercial ($n = 3\ 323$) y b) bancos naturales ($n = 825$). En el eje de las abscisas se presenta el punto medio de los intervalos de clase; las barras blancas indican el intervalo entre los cuartiles 25 y 75.

y expulsan los órganos internos, así como gran cantidad de agua almacenada en el cuerpo (Girón-Botello *et al.* 1996). Aunado a ello, los animales se contraen y relajan continuamente (Dimock 1977, Salgado-Rogel *et al.* 2009), por lo que es muy difícil medir la longitud de los ejemplares con precisión aceptable; así, los datos de talla y peso provenientes de la captura comercial no se ajustaron a un modelo de regresión exponencial, la correlación encontrada en este trabajo correspondió a individuos *in situ* medidos sin tener contacto con ellos, y se seleccionaron los que estaban en completo reposo.

Las variaciones en la longitud imposibilitan establecer una talla mínima de captura como medida de manejo, razón por la que se ha utilizado el peso de primera madurez, expresado como peso húmedo de la pared corporal (Nuño-Hermosillo 2003, Nuño-Hermosillo *et al.* 2006,

Fajardo-León *et al.* 2008, Salgado-Rogel *et al.* 2009). Entre los pepinos de mar de Baja California ese peso varía entre 120 g y 160 g (Pérez-Plascencia 1995, Espinoza-Montes 2000, Fajardo-León *et al.* 2008) y la primera liberación de gametos sucede cuando han alcanzado un peso de 166 gramos (Encinas-García 1997).

La clase modal de la distribución de frecuencia del peso de los ejemplares de la captura comercial indica que la mayoría es pequeña e inmadura. En contraste, los pepinos de mar recolectados en los bancos silvestres son de mayor tamaño y puesto que los muestreos se realizaron hasta 36 m, esta información sugiere que los individuos más grandes se encuentran a mayor profundidad, como sucede con otras especies (Bulteel *et al.* 1992). Los pescadores, por otro lado, trabajan en sitios más someros, lo que explica la gran abundancia de individuos pequeños. Sin embargo, en Baja California se encontraron organismos de hasta 694 mm de longitud y en poblaciones de California pueden alcanzar hasta 250 mm (Brumbaugh 1980, Brandon y Rokop 1985). La diferencia en talla, aun considerando las dificultades para medirlos, indica la importancia del recurso y la necesidad de conservarlo.

La densidad (D) de los bancos de pepino de mar fue significativamente diferente entre las localidades, lo que puede atribuirse a variaciones naturales. Así, por ejemplo, estos organismos son más abundantes sobre sustratos con alto contenido de materia orgánica (Yingst 1982) y el hábitat de juveniles y de adultos es distinto (Muscat 1982). En estudios futuros debe considerarse el tipo de sustrato e incluir mayor cantidad de sitios de muestreo en todas las zonas de pesca.

Otra causa que puede explicar las variaciones de D son las diferencias de esfuerzo pesquero aplicado en cada lugar. Los valores más pequeños se encontraron en Santo Tomás y sur de Punta Baja, cuyo fácil acceso ha propiciado que el esfuerzo haya sido mayor que en otros sitios y donde, además de los equipos autorizados y establecidos de manera permanente, también trabajan embarcaciones sin el permiso correspondiente. Aunado a esto, en Santo Tomás la tradición pesquera rebasa 50 años, mientras que en el sur de Punta Baja los permisos de varias organizaciones (al menos cuatro) se traslapan en el mismo sitio.

Por el contrario, el esfuerzo ha sido menor; en las localidades donde la D fue más elevada. Santa Rosalíita y Punta Canoas no es un área tradicional

de pesca de pepino de mar por su lejanía de Ensenada, mientras que en La Calavera (en ZAP II), los bancos están a mayores profundidades y los buzos requieren más entrenamiento y equipo más costoso.

Otro factor que probablemente afecta a las poblaciones del pepino de mar *P. parvimensis* es que la captura coincide con su periodo de reproducción, en particular en el norte de la península, donde se reproduce en junio y agosto, con máximos a principios de verano (Tapia-Vázquez *et al.* 1994). En estos sitios, el inicio de la temporada de erizo, a partir del 1 de julio, es favorable para el pepino de mar.



Pescadores preparándose para la captura de pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en Baja California. Fotografía de David Aguilar Montero.

Instrumentos de manejo existentes

La pesquería de pepino de mar *P. parvimensis*, al igual que otras en México, se rige por la Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables (DOF 2007) y su Reglamento (DOF 1992), misma que es una ley reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución General de los Estados Unidos Mexicanos. En ella se establecen las condiciones de acceso al recurso, así como los derechos y obligaciones de los usuarios. Otras leyes concurrentes son: a) Ley de Metrología y Normalización, concerniente a la emisión de normas

reglamentarias de las pesquerías y, b) Ley General de Sociedades Cooperativas que rige la organización y el funcionamiento de las sociedades de producción pesquera (DOF 1994); y c) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (DOF 1988), relativa a la preservación y la restauración del equilibrio ecológico y protección al ambiente y acervo biológico del país y la Carta Nacional Pesquera (DOF 2010). La pesquería de pepino de mar no está regulada por alguna norma y sólo se cuenta con la Carta Nacional Pesquera como instrumento de manejo.

Nuevas estrategias de manejo

La pesquería de pepino de mar requiere medidas de manejo que no se consideran en la Carta Nacional Pesquera, como fijar precautoriamente un peso mínimo de captura de 350 g, que equivale a 200 g de peso eviscerado. Lo anterior, para asegurar la captura de individuos de un tamaño que haya desovado al menos una vez. También se debe decretar el cierre temporal de áreas de pesca donde la densidad sea inferior a $0.2 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, como se hizo en California (Rogers-Bennett y Ono 2001) para promover la recuperación de los bancos cuando están por debajo de esa densidad.

Dada la variabilidad de la abundancia y las distintas tasas de explotación de pepino de mar, se requiere mantener un enfoque precautorio en su pesquería en Baja California, basado en aplicar tasas de explotación conforme a los resultados de las evaluaciones *in situ*, tal como lo establece la Carta Nacional Pesquera. Así como realizar una sola jornada de captura por día por equipo de pesca. Promover el otorgamiento de concesiones para la captura de pepino de mar a permisionarios que realicen la pesca responsable, analizando su expediente en lo referente al cumplimiento de cuotas de captura y peso mínimo legal de extracción de pepino. Lo anterior debido a que la modalidad de concesión permite el usufructo del recurso por un periodo mayor (10-20 años), lo que trae consigo el interés y el compromiso de proteger el patrimonio pesquero de la nación.

Definir como áreas de interés aquellas que se detecten como sitios de productividad, para que en el futuro sean consideradas como áreas de “no pesca”, con un adecuado manejo con la finalidad de asegurar procesos

reproductivos, de reclutamiento y promover la incorporación de reclutas en áreas adyacentes.

Replamamiento de pepino de mar en áreas de mayor deterioro, el concepto de replamamiento se aplica a áreas donde existen condiciones adecuadas de hábitat. Para introducir semilla de pepino de mar se debe alentar el desarrollo de la acuicultura de esta especie. Otro aspecto es el trasplante de reproductores en sitios protegidos de depredadores y pesca furtiva con la finalidad de promover la reproducción y el reclutamiento. Lo anterior, con la obligación de previa asesoría profesional.



Captura de pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en Baja California. Fotografía de David Aguilar Montero.

También debe considerarse decretar el cierre temporal de áreas de pesca donde la densidad sea inferior a $0.2 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, como se hizo en California (Rogers-Bennett y Ono 2001) para promover la recuperación de los bancos cuando están por debajo de esa densidad.

La rotación de áreas de cosecha se ha realizado con éxito en otras pesquerías, como la de erizo rojo (Salgado-Rogel y Palleiro-Nayar 2008) y podría instrumentarse en ésta. Dicha estrategia consiste en iniciar la temporada de pesca en zonas con alta densidad y mayor cantidad de ejemplares grandes y dejar “descansar” las áreas pobres y con individuos pequeños. Estas medidas podrían adoptarse, pero para ello se requiere evaluar

periódicamente las localidades, antes y después de la cosecha, para determinar su efecto y considerar los ajustes pertinentes.

Establecer un esquema de co-manejo para la pesquería de pepino de mar, entre las autoridades y los pescadores para que la pesca sea sustentable, con beneficios económicos y protección del medio ambiente; sin embargo, es necesario generar más información sobre su dinámica poblacional para determinar la variación espacial de diferentes parámetros poblacionales tales como edad y crecimiento, reproducción, mortalidad y reclutamiento en las diferentes zonas de pesca. El conocimiento de las diferencias espaciales en los parámetros anteriormente mencionados servirá para proponer un tipo de manejo específico por zona que sea adecuado para las poblaciones que han sido afectadas por diferentes presiones de pesca, así como diversas condiciones ambientales. Es importante realizar estudios para determinar el efecto de variables físicas en los mecanismos de dispersión de las larvas. Esta información es indispensable para localizar sitios en donde el reclutamiento sea alto y considerarlos como fuentes importantes de juveniles que ayudarán a repoblar áreas adyacentes. Determinar por zona y área de pesca tasas de mortalidad, reclutamiento y migración. Los factores que controlan el reclutamiento no se conocen, por lo que es necesario tener un mayor entendimiento de los procesos de reclutamiento, desde la producción larval hasta su estado juvenil. También es de gran relevancia considerar estudios de fecundidad y fertilidad y relacionarlos con el reclutamiento, así como estudios de tablas de vida. La madurez sexual puede ser afectada por la pesca excesiva, por lo que es necesario realizar estudios específicos por zona que ayuden a diferenciar los efectos de diferentes niveles de pesca y con la capacidad reproductiva de las poblaciones de cada zona.

Dinámica meta-poblacional. Inicialmente se deberán realizar análisis genéticos poblacionales, ya que se plantea la hipótesis de que es posible que existan una o más poblaciones diferentes entre zonas de pesca, lo que permitirá evaluar posibles subestructuras poblacionales que estén relacionadas entre sí por medio de la dispersión. El considerar la inmigración y la emigración permitirá evaluar el potencial de persistencia de un conjunto de poblaciones interconectadas y asimismo conocer la razón de reclutamiento, crecimiento, sobrevivencia, edad y reproducción del pepino de

mar por zonas de pesca. Se deben realizar estudios oceanográficos para tener mayor entendimiento de los factores físicos y oceanográficos que afectan la variabilidad del reclutamiento (espacial y temporal), por lo que se requieren imágenes de satélite y estudios de patrones de circulación local de la costa occidental de Baja California. Los estudios sobre manejo integral del ecosistema y los de la comunidad de macroalgas y sus relaciones interespecíficas se realizarán con la finalidad de administrar integralmente los recursos de la comunidad, como son: erizo de mar, langosta, caracol panocha, caracol tornillo, estrella de mar y pepino, entre otros. Con investigación tecnológica, en el área de procesos, se daría mayor valor agregado a la maquila de pepino de mar y se aseguraría mayor calidad para darle mayor valor agregado para exportación al mercado asiático.



Comunidades de macroalgas asociadas a pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en Baja California. Fotografía de David Aguilar Montero.

Mercado

Para conservar los beneficios económicos de la pesquería se deberá hacer un manejo adecuado del recurso para preservar la pesquería y que continúe

proveyendo empleo a las comunidades pesqueras. Dado que esta pesquería es de alternancia con la del erizo, pues se realiza principalmente cuando está en veda el erizo rojo (entre marzo y junio), es de gran importancia socioeconómica. Su captura, su procesamiento y su comercialización proporcionaron 700 empleos directos por temporada y una derrama económica de cerca de un millón de dólares estadounidenses. El precio en playa varía de dos a tres dólares por kilogramo de peso vivo; ya deshidratado se exporta a China y Corea, donde puede llegar a costar hasta 100 dólares el kilogramo (Salgado-Rogel *et al.* 2009). Existen aproximadamente 12 plantas procesadoras de pepino de mar en Baja California, distribuidas en Ensenada, Ejido Rubén Jaramillo, San Quintín, El Rosario e Isla de Cedros. El volumen de extracción de pepino de mar ha oscilado en el último lustro entre 235 t y 184 t de peso entero. El producto se entrega en la planta como organismos vivos, donde se cuecen y se deshidratan, previa extracción de vísceras. Existen 25 sitios de descarga o varaderos, pero en la mayoría de los casos no hay facilidades de muelle; dichos lugares se localizan desde Popotla hasta Punta San Carlos, Baja California. La totalidad de la producción de pepino de mar procesado (deshidratado) tiene como destino final Corea y China. Inicialmente se exporta al estado de California y luego se envía a los mencionados países asiáticos por vía aérea desde el aeropuerto de Los Ángeles, California. Dependiendo de su calidad, en Corea puede llegar alcanzar precios de hasta 120 dólares americanos por kilogramo de producto deshidratado.

Literatura citada

- Andrew NL, Y Agastuna, E Ballesteros, A Baxhin, EP Creaser, DK Barnes, LW Botsford, A Bradbury, A Campbell, JD Dixon, S Einarsson, P Gerring, K Hebert, M Hunter, SB Hurt, CR Johnson, MA Juinio-Menez, P Kalvass, RJ Miller, CA Moreno, JS Palleiro, D Rivas, SM Robinson, SC Schroeter, RC Stenek, RI Vadas, DA Woodby y Z Xiaoqu. 2002. Status and management of world sea urchin fisheries. *Oceanography and Marine Biology. An Annual Review* 40: 343-425.
- Baker SL. 1973. Growth of the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* in two natural habitats. Master Thesis, UCLA, San Diego, CA. 83p.
- Bostford LW. 2001. Physical influences on recruitment to California current invertebrate population on multiple scales. *Journal of Marine Science* 58: 1081-109.
- Brandon JL y FJ Rokop. 1985. *Life between the tides*. American Publication San Diego, CA. 258p.
- Brumbaugh JH. 1980. Holothuroidea; the sea cucumber. *En: RH Morris, PD Abbot y EC Haderlie (eds.). Intertidal Invertebrates of California*. Stanford University Press. California. 690p.
- Bulteel P, M Jangoux y P Coulon. 1992. Biometry, bathymetric distribution and reproductive cycle of the Holothuroid *Holothuria tubulosa* from Mediterranean Sea grass beds. *Marine Ecology* 131(1): 53-62.
- Bureau D. 1996. Relationship between feeding, reproductive condition, jaw size and density in the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. Master Thesis, Simon Fraser University Burnaby, Canadá. 90p.
- Cameron RA y SC Schroeter. 1980. Sea urchin recruitment: Effect of substrate selection on juvenile distribution. *Marine Ecology* 2: 243-247.
- Chávez EA. 2005. FISMO: A Readily Generalized Fisheries Simulation. *Fisheries Assessment and Management in Data-Limited Situations. Alaska Sea Grant College Program* 5(02): 659-681.
- Chávez EA y F Arreguín-Sánchez. 1995. Optimizing yields of the king mackerel (*Scomberomorus cavalla*) fishery of the west and southern Gulf of Mexico. *Scientia Marina* 59: 629-636.

- Chávez EA, ML Salgado-Rogel y J Palleiro-Nayar. 2011. Stock assessment of the warty sea cucumber fishery (*Parastichopus parvimensis*) of NW Baja California. *CalCOFI Report* 52: 136-147.
- Cota-Villavicencio A, D Aguilar-Montero, JM Romero-Martínez, F Uribe-Osorio, E Zárata-Becerra y P Sierra-Rodríguez. 2000. Erizo de mar, *Strongylocentrotus franciscanus*. En: A Aguilar-Ibarra, P Arenas-Fuentes, L Beléndez-Moreno, JI Fernández-Méndez, L López-González, I Ortiz-Fortunat, P Sierra-Rodríguez, P Ulloa-Ramírez y A Díaz de León-Corral (eds.). *Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y manejo*. Instituto Nacional de la Pesca, SEMARNAP. México, pp: 299-324.
- Cowen RK. 1983. The effect of sheephead (*Semicossyphus pulcher*) on red sea urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) populations: An experimental analysis. *Oecologia* 58: 249-255.
- Crawley MJ. 2002. *Statistical computing an introduction to data analysis using S-Plus*. John Wiley & Sons, UK. 761p.
- Dimock RV. 1977. Effects of evisceration on oxygen consumption by *Stichopus parvimensis* Clark (Echinodermata: Holothuroidea). *Journal Experimental Marine Biology Ecology* 28(2): 125-132.
- DOF. 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. México. 28 de enero de 1988. (Última reforma publicada DOF 4 de junio de 2012.)
- DOF. 1992. Reglamento de la Ley de Pesca. Diario Oficial de la Federación. México. 21 de julio de 1992.
- 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. México. 1 de septiembre de 1993.
- DOF. 1994. Ley General de Sociedades Cooperativas que rige la organización y funcionamiento de las sociedades de producción pesquera. Diario Oficial de la Federación. México. 3 de agosto de 1994. (Última reforma publicada DOF 13 de agosto de 2009.)
- DOF. 2002. Norma Oficial Mexicana 059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México. 6 de marzo de 2002.
- DOF. 2007. Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables. Diario Oficial de la Federación. México. 27 de julio de 2007. (Última reforma publicada DOF 7 de junio de 2012.)
- DOF. 2010. Carta Nacional Pesquera. Diario Oficial de la Federación. México. 2 de diciembre de 2010.
- Ebert TA 1983. Recruitment in echinoderms. En: M Jangoux y JM Laurence (eds.). *Echinoderms studies*. A. Balkeema, Rotterdam, pp: 169-203.

- Ebert TA. 2008. Longevity and lack of senescence in the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. *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.
- Ebert TA, D Dixon, SC Shroeter, PE Kalvas, NT Richmond, WA Bradbury y DA Woodby. 1999. Growth and mortality of red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* across a latitudinal Gradient. *Marine Ecology* 190: 189-209.
- Encinas-García AG. 1997. Madurez gonadal y fecundidad del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* (Echinodermata: Holothuroidea) en la Bahía Todos Santos, Ensenada, BC, México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. México. 62p.
- Espinoza-Montes A. 2000. Ciclo reproductivo del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* (HL Clark, 1913) (Echinodermata, Holothuroidea) en Isla Natividad, Baja California Sur, México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Guadalajara. México. 60p.
- Fajardo-León MC, MCL Suárez-Higuera, A del Valle Manríquez y A Hernández-López. 2008. Biología reproductiva del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* (Echinodermata: Holothuroidea) de Isla Natividad y Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 23(2): 165-177.
- Girón-Botello R, J Singh-Cabanillas y JA Vélez-Barajas. 1996. Holoturoideos: Pepino de Mar. En: A Sánchez-Palafox, DF Fuentes-Castellanos y S García-Real (eds.). *Pesquerías Relevantes de México*. xxx Aniversario del Instituto Nacional de la Pesca. México, pp: 337-362.
- Haggen NT. 1996. Tagging sea urchins: a new technique for individual identification. *Aquaculture* 139: 271-284.
- Hereu B, M Zabala, C Linares y E Sala. 2004. Temporal and spatial variability in settlement of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in the NW Mediterranean. *Marine Biology* 144(5): 1011-1018.
- Kalvas PE, JM Henrix y PM Law. 1998. Experimental analysis of 3 internal marking methods for red sea urchins. *California Fish and Game* 84: 88-99.
- Kato S y SC Schroeter. 1985. Biology of the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* and its fishery in California. *Marine Fisheries Review* 47: 1-20.
- Kenner MC. 1992. Population dynamics of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* in a central California kelp forest: recruitment, mortality, growth and diet. *Marine Biology* 112: 107-118.
- Leighton D. 1971. Grazing activities of benthic invertebrates in southern California: kelp beds. *Nova Hedwigia* 32: 421-453.
- Malagrino LG. 1972. Extracción y preservación de las gónadas de erizo de mar. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, UABC, México. 52p.

- Matitison JE, JD Trent, AL Shanks, TB Akin and JS Pears. 1977. Movement and feeding activity of red sea urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) adjacent to a kelp forest. *Marine Biology* 39: 25-30.
- McCauley JE y AG Carey Jr. 1967. Echinoidea of Oregon. *Journal Fish Research Board Canada* 24(6): 1385-1401.
- Miller BA y RB Emllet. 1997. The influence of shore hydrodynamics on larval abundance and settlement of the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* and *Strongylocentrotus pupuratus* in the Oregon upwelling zone. *Marine Ecology Progress Series* 148: 83-94.
- Morgan LE, S Wing, W Botsford, C Lundquist y JM Diehl. 2000. Spatial variability in red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* recruitment in northern California. *Fisheries Oceanography* 9: 83-98.
- Mottet MG. 1976. The fishery biology of sea urchin in the family Strongylocentrotidae. *Washington Department Fisheries Technical Report* 20: 1-66.
- Muscat A. 1982. *Aspects of the biology of the sea cucumber Parastichopus parvimensis: A developing commercial fishery*. The planning and management of California's coastal resources. usc Sea Grant Institutional Programs, 1981-1982. Trainee report, University of Southern California, pp: 25-27.
- Nilsen LA. 1992. Internal tag. *En: Methods of marking fish and shellfish. Special Publication of American Fisheries*, pp: 89-112.
- Nishizaki MT y DI Ackerman. 2006. Juvenile-adult associations in sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *S. droebachiensis*): protection from predation and hydrodynamics in *S. franciscanus*. *Marine Biology* 151: 135-145.
- Nuño-Hermosillo A. 2003. Ecología poblacional, ciclo reproductivo e historia de la pesquería del pepino de mar *Isostichopus fuscus* (Ludwing 1875) (Echino-dermata: Holothuroidea) en Bahía Chamela, Jalisco, México. Tesis de maestría. Universidad de Guadalajara. México. 112p.
- Nuño-Hermosillo A, E Ríos-Jara, E Espino-Barr y JL Gómez-Márquez. 2006. Aspectos biológico-pesqueros de la población del pepino de mar *Isostichopus fuscus* en Chamela, Jalisco, México. *En: MC Jiménez-Quiroz y E Espino-Barr (eds.). Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán*. Instituto Nacional de la Pesca, SAGARPA. México, pp: 463-473.
- Palleiro-Nayar JS. 1982. Estimación de la densidad y crecimiento del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* para la zona de Santo Tomás, BC. Tesis de licenciatura. Facultad Ciencias de Marinas. UABC. México. 68p.
- Palleiro-Nayar JS. 2004. Dinámica de población de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* sujeta a extracción comercial en Baja California. Tesis de maestría. Departamento de Ecología Marina. CICESE. México. 82p.
- 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. México. 129p.
- Palleiro-Nayar JS, D Aguilar-Montero y JM Romero-Martínez. 1996. Equinodermos: erizo de mar. *En: A Sánchez-Palafox, DF Fuentes-Castellanos y S García-*

- Real Peñaloza (eds.). *Pesquerías relevantes de México*. Instituto Nacional de la Pesca, SEMARNAP. México, pp: 313-335.
- Palleiro-Nayar JS, ML Salgado-Rogel y D Aguilar-Montero. 2008. La pesca de erizo morado *Strongylocentrotus purpuratus* y su incremento poblacional en Baja California, México. *Ciencia Pesquera* 16: 29-35.
- Palleiro-Nayar JS, O Sosa-Nishisaki y G Montaña-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): 21-28.
- Palleiro-Nayar JS, A Lelevier, M Navarrete y M Romero. 1988. Biología del erizo rojo *S. franciscanus* y su pesquería en Baja California. Los recursos pesqueros del país. xxv Aniversario Instituto Nacional de la Pesca, Secretaría de Pesca.
- Palleiro-Nayar JS, ML Salgado-Rogel, D Aguilar-Montero y M Romero-Martínez. 2003. Análisis de la pesquería del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la costa noroccidental de Baja California, México. *Journal INpesca* 1: 40-45.
- Pearce CM y RE Scheibling. 1990. Induction of metamorphosis of larvae of green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis* by coralline red algae. *Biology Bulletin* 179: 304-311.
- Pérez-Plascencia G. 1995. Crecimiento y reproducción del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. México. 67p.
- Rogers-Bennett L y DS Ono. 2001. *Sea cucumbers. California living marine resources: A status report*. California Department of Fish and Game, EU, pp: 131-134.
- Rogers-Bennett L, W Bennett, C Fastenau y CM Dewees. 1995. Spatial variation in red sea urchin reproduction and morphology: implications for harvest refuge. *Ecology Application* 5: 1171-1180.
- Ruiz-López A, D Herrera-González y J Castro-Ruiz. 1987. Análisis anual histológico y productividad orgánica gonadal en el ciclo reproductivo del erizo rojo *S. franciscanus* Echinodermata: Echinoidea en Punta San Miguel, Ensenada, BC. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Baja California. 68p.
- Salgado-Rogel ML y JS Palleiro-Nayar. 2008. Disminución de la abundancia del erizo rojo y propuestas para su manejo en Baja California, México. *Ciencia Pesquera* 16: 37-45.
- Salgado-Rogel ML, JS Palleiro-Nayar, D Aguilar-Montero, M Romero-Martínez y FJ Martínez-García. 2003. Estudio comparativo de la abundancia de erizo rojo (*Strongylocentrotus franciscanus*) en la costa noroccidental de la península de Baja California. *Journal INpesca* 1: 46-53.
- Salgado-Rogel ML, JS Palleiro-Nayar, JL Rivera-Ulloa, D Aguilar-Montero, E Vázquez-Solórzano y MC Jiménez-Quiroz. 2009. La pesquería y propuestas de manejo del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en Baja California, México. *Ciencia Pesquera* 17(1): 17-26.

- Schroeter SC, DC Reed, DJ Kushner, JA Estes y DS Ono. 2001. The use of marine reserves in evaluating the dive fishery for the warty sea cucumber (*Parastichopus parvimensis*) in California, USA. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 1773-1781.
- Starr M, JH Himmelman y JC Terriault. 1990. Direct coupling of marine Invertebrate spawning with phytoplankton blooms. *Science* 247: 1071-1074.
- Steneck RS. 1998. Human influences on costal ecosystems: does overfishing create trophic cascades? *Tree* 11: 429-430.
- Steneck RS, MH Graham, BJ Bourque, D Corbett, JM Erlandson, JA Estes y MJ Tegner. 2002. Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation* 29(4): 436-459.
- Swanson RL, JE Williamson, De Nys RN Kumar, MP Bucknall y PD Steinberg. 2004. Induction of settlement of larvae of sea urchins *Holopneustes purpurascens* by histamine from a host alga. *Biological Bulletin* 206: 161-172.
- Takahashi Y, K Itoh, M Ishii, M Suzuki y Y Itabashi. 2002. Induction of larval settlement and metamorphosis of the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* by glycolipids from the green alga *Ulva lens*. *Marine Biology* 140: 763-771.
- Tapia-Vázquez O, JJ Castro y H Valles. 1994. Madurez gonádica del pepino de mar *Parastichopus parvimensis* en la costa occidental de Baja California, México, en 1994. *Ciencia Pesquera* 12: 5-12.
- Tegner JM. 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: 307-332.
- Tegner JM y KP Dayton. 1977. Sea urchin recruitment patterns and implications of commercial fishing. *Science* 196: 324-326.
- Tegner JM y KP 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.
- Urías-González L. 1994. Análisis gonadal a nivel histológico del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la Zona II Santo Tomás, BC. 87p.
- Wing S, L Botsford, J Largier y L Morgan. 1995a. Spatial structure of relaxation events and crab settlement in the northern California upwelling system. *Marine Ecology Progress Series* 128: 199-211.
- Wing S, J Largier, L Botsford y J Quinn. 1995b. Settlement and transport of benthic invertebrates in an intermittent upwelling region. *Limnology and Oceanography* 40: 316-329.
- Wing SR, LW Botsford, LE Morgan, JM Diehl y CJ Lundquist. 2003. Inter-annual variability in larval supply to populations of three invertebrate taxa in the northern California Current. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57: 859-872.
- Yingst JY. 1982. Factors influencing rates of sediment ingestion by *Parastichopus parvimensis* (Clark), an epibenthic deposit-feeding Holothurian. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 141: 119-134.

*Recursos bentónicos de Baja California:
erizo y pepino de mar*
se terminó de imprimir en octubre de 2013
en los talleres de Ediciones de la Noche
Madero #687, Zona Centro
44100, Guadalajara, Jalisco
El tiraje fue de 1,000 ejemplares.

www.edicionesdelanoche.com