

# Estructura por tallas y tasa de mortalidad total del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* de las costas de Baja California, México

Cota-Villavicencio, Alfredo<sup>1</sup>; David-Aguilar-Montero<sup>1</sup>; Manuel Romero-Martínez<sup>1</sup>; Francisco Uribe-Osorio<sup>1</sup> y Julio Said Palleiro-Nayar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada. INP. Apdo. Postal 1306, CP. 22750, Ensenada, BC. E-mail: [acota45@telnor.net](mailto:acota45@telnor.net).

<sup>2</sup> Subdelegación Federal de Pesca en Baja California. SEMARNAP. Ensenada BC.

COTA-VILLAVICENCIO, A.; D. Aguilar-Montero; M. Romero-Martínez; F. Uribe-Osorio y J. S. Palleiro-Nayar. 2000. Estructura por tallas y tasa de mortalidad total del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* de las costas de Baja California, México. *INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No. 14.*

Se analizan datos de tallas del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* explotado a lo largo de la costa noroccidental de la Baja California. La serie incluye algunos meses de los años de 1979, 1983, 1984, 1985, 1986, 1990 y 1991. Se determinó la composición por tallas y la tasa de mortalidad total ( $Z$ ). Las tallas presentaron distribución unimodal alrededor de los 80 mm; los valores de  $Z$  son superiores a 1.00 en todas las áreas de muestreo. Los factores más importantes que influyen en la población en las diferentes zonas de pesca son la depredación y la actividad pesquera.

*Data of size frequencies taken from the fishing banks of the red sea urchin Strongylocentrotus franciscanus in Baja California are analyzed. The series includes several months of the years 1979, 1983, 1984, 1985, 1986, 1990 and 1991. The size structure and the total mortality rate ( $Z$ ) were determined. The size distribution is unimodal; the values of  $Z$  were higher than 1.00 in all sampled areas, predation and fishing activities are the main factors that control the fishing zones.*

## Introducción

El erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* es la base de una pesquería muy importante que genera empleo y divisas en el estado de Baja California (Lelevier y Palleiro, 1987). La zona de explotación abarca desde Islas Coronado hasta El Rosario al sur del estado, con los bancos de pesca más importantes en Popotla, Punta San Miguel, Punta Banda, Santo Tomás, Isla San Martín y Bahía de El Rosario.

Desde los inicios de la pesquería se estableció un programa de investigación que consideró la toma mensual de muestras en los diferentes bancos de pesca. De cada individuo se obtuvo la talla del caparazón, el peso y calidad de la gónada, entre otros datos, que generaron los conocimientos básicos de su biología pesquera, como su talla de primera madurez, el ciclo anual de madurez gonádica,

crecimiento y mortalidad, que fueron básicos para establecer las bases de su administración (Fariás, 1980; Palleiro, 1982; Lelevier y Palleiro, 1987 y Tapia y García<sup>1</sup> y Sierra y colaboradores<sup>2</sup>).

La pesquería del erizo rojo ha presentado un crecimiento muy rápido, por lo que su administración se ha encontrado con el problema de mantener el paso entre la creciente demanda del mercado y el conocimiento de su compleja dinámica poblacional.

La administración de la pesquería se ha fundamentado en cálculos independientes de biomasa mediante cruceros de pesca y muestreos en bancos de pesca, con el objeto de cumplir con el objetivo de administrar el recurso con base en el método de producción excedente máxima (PEM =  $Bo/2$ ). Debido a que resulta muy costosa la evaluación mediante cruceros de pesca, se han preferido los muestreos de campo para obtener datos de frecuencia de tallas que han servido para calcular los parámetros poblacionales: crecimiento y mortalidad, fundamentalmente. Según Barry y Tegner (1990), la distribución de tallas del erizo puede ser unimodal o bimodal en función de la predominancia de uno de los dos factores; además, son poco conocidas y presentan una variación importante de una localidad a otra.

En este trabajo se analiza la distribución de tallas del erizo rojo y la tasa de mortalidad total de los años 1979, 1983, 1984, 1985, 1986, 1990 y 1991 tomados en los bancos de pesca.

<sup>1</sup> TAPIA, O. y A. R. García. Informe de los resultados obtenidos sobre la determinación de madurez gonadal en *Strongylocentrotus franciscanus* durante el ciclo anual de enero de 1984 a enero de 1985 en Pta. San Miguel, Baja California. CRIP-Ensenada. Informe interno. 1986. 15 pp.

<sup>2</sup> Sierra, P., A. Solís y D. Acal. Definición del modelo para el diagnóstico del estado de salud de los recursos erizo, pepino de mar y langosta. CRIP Ensenada. Informe técnico interno. 13 de mayo de 1997. 20 pp.

## Antecedentes

El erizo rojo *S. franciscanus* es un equinoideo de gran tamaño que se encuentra en las comunidades de algas cafés en la costa oeste de Norte América y se explota comercialmente de la Columbia Británica a la Baja California (Sloan, 1986; mencionado por Tegner, 1989). En el estado de California en 1987 fue la segunda pesquería más importante en valor: aportaba 13,693 dólares a la economía del estado con un volumen de cerca de 10,000 t (Tegner, 1989). Desde el año de 1988 la captura y la captura por unidad de esfuerzo han venido disminuyendo, corroborándose esto con cálculos independientes de densidad (Kalvass, 1992). La administración de su pesquería se basa en una talla mínima de captura de 87 mm, cierre de la pesca por dos meses al año para limitar el esfuerzo y aplicación de un plan de rotación de los bancos de pesca, el cual ha sido bastante exitoso (Botsford *et al.*, 1993); Espino *et al.* (1996), en un estudio del erizo *Diadema mexicanum* de las costas de Colima, consideran a la especie como explotable por su alta densidad y recomiendan su explotación de mayo a agosto, que es cuando la gónada está madura, así como una talla mínima de captura para proteger a la especie.

## Área de estudio

El área de estudio comprende desde Islas Coronado hasta El Rosario, Baja California y se encuentra dividida en cuatro zonas de pesca con el objeto de facilitar su administración: zona 1, que va desde Islas Coronado hasta Punta Banda; zona 2, de Punta Banda a Punta Colonet; zona 3, de Punta Colonet a Valle Tranquilo; y zona 4, de Valle Tranquilo a Punta San Carlos (Fig. 1).

## Métodos y materiales

### Materiales

Se analizan los datos obtenidos en el campo provenientes de los bancos más importantes de las cuatro zonas de pesca donde se explota el erizo rojo. Se cuenta con información de composición de tallas, pero no es uniforme en cada zona y año de muestreo. El período comprende los años. 1979, 1983, 1984, 1985, 1986, 1990 y 1991. Los individuos de las muestras se encuentran en algunos casos por encima de los 80 mm de diámetro de caparazón, que es la talla mínima legal de esta especie. Los datos de muestreo fueron proporcionados por el Programa de Equinodermos del Centro Regional de Investigación Pesquera de Ensenada (Palleiro, Com. Pers.).

### Métodos

De cada muestra se calculó la media y la desviación estándar. Además, se utilizó el método de la curva de captura convertida a longitud (linearizada) según Sparre *et al.* (1990). Esta parte de la ecuación inversa de von Bertalanffy se representa de la forma siguiente:

$$t(l) = t_0 - l/k \ln(1 - \bar{l}/L_\infty)/k$$

$$\bar{l} = l \text{ promedio}$$

donde:

$$t(l) = \text{edad y } t_0 = \text{parámetro de condición inicial del crecimiento,}$$

cuando la longitud = 0 (Sparre *et al.*, *op. cit.*). Las tallas corresponden siempre al diámetro del caparazón en milímetros.

Si se asume que  $t_0 = 0$ , la edad ( $t$ ) corresponde a ( $l_1$ ) y la edad ( $t + \Delta t$ ) a ( $l_2$ )

$$l_1 = l(t)$$

$$\text{Entonces } C(t, t+\Delta t) = C(l_1, l_2) \text{ y}$$

$$\Delta t = \frac{1}{k} \ln \frac{(l_\infty/l_1)}{(l_\infty/l_2)}$$

Donde ( $\Delta t$ ) es el tiempo que toma un individuo para crecer de ( $l_1$ ) a ( $l_2$ ), ( $\Delta t$ ) se obtiene mediante la resta de las dos ecuaciones inversas correspondientes a ( $l_1$ ) y ( $l_2$ ). Con los parámetros conocidos  $k$ ,  $l_\infty$ ,  $l_1$  y  $l_2$  se puede calcular  $\Delta t$  y entonces:

$$X = \ln(C/\Delta t)$$

$$Y = \ln(1 - \bar{l}/L_\infty)/k$$

$$\ln \left( \frac{C}{\Delta t} \right) = l_0 - Z * \ln \left( \frac{l}{l_\infty} \right) / k$$

Donde  $\bar{l} = l$  promedio

Nota: Para resolver este algoritmo se usó un programa de la hoja de cálculo Excel versión 97.

## Resultados

En las *tablas 1 a 4* se muestran los resultados de los muestreos de erizo rojo, con distribución unimodal en la mayoría de los casos, porque no se incluyen individuos menores de 80 mm o no están bien representados en la muestra. En 1990 y 1991 se hicieron algunos muestreos especiales para detectar una segunda moda en los juveniles pero no tuvieron éxito (Palleiro, 1982). En la mayoría de las áreas estudiadas se obtuvieron tallas promedio superiores a los 80 mm. De los siete años cubiertos, cinco presentan información más abundante y de ellos en 1991 la talla promedio es mayor a los 90 mm y la media es de  $111.7 \pm 25.7$  mm. De Islas Coronado y Bahía de El Rosario se obtuvieron las mayores tallas:  $121 \pm 17.7$  y  $108 \pm 14.1$ , en agosto de 1984 y mayo de 1985, respectivamente. En el banco de Popotla y el de Salsipuedes se obtuvieron los promedios más bajos:  $50.6 \pm 22.6$  y  $72.7 \pm 9.7$  en noviembre de 1990 y septiembre del mismo año. El promedio general de la talla fue de  $93.5 \pm 13.2$  mm.

Los cálculos de la tasa instantánea de mortalidad total ( $Z$ ) de las cuatro zonas de pesca (Tablas 6 a 8) el banco de San Miguel y Punta de Santo Tomás, que corresponden a las zonas 1 y 2 respectivamente, presentan el mayor número de meses de muestreo; el resto de las zonas con muestreos esporádicos (Tabla 5).

En las cuatro zonas estudiadas el promedio de  $Z$  es superior a 1.00 ( $Z = 1.170 \pm 0.248$ ) En la zona 1, que comprende de Islas Coronado a Punta Banda, es de  $1.457 \pm 0.875$ . En la zona 2, Santo Tomás,  $Z = 1.215 \pm 0.668$  (Tabla 6.) En la zona 3,  $Z = 0.853 \pm 0.577$  en Punta San Quintín, Bahía de San Quintín y Bahía Falsa (Tabla 7). En la zona 4, Valle Tranquilo y Bahía de El Rosario (Tabla 8)  $Z = 1.115 \pm 0.330$ .

Los cálculos mensuales de  $Z > 1.2$  se obtuvieron en la zona 1, sobre todo en los bancos de Popotla y San Miguel, así como en Santo Tomás en la zona 2. En el resto de los bancos de pesca  $Z$  oscila alrededor de 1.2.

**Tabla 1.** Tallas, en milímetros, de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la Zona 1 de la costa occidental de Baja California, México. Muestra (media±desviación estándar).

AÑO	MES	I. CORONADO	POPOTLA	SALSIPUEDES	CALAFIA	P. NUEVO	I. T. SANTOS	P. BANDA	SAN MIGUEL
1983	SEP								169 (90.2±11.6)
1984	ENE								56 (93.1±10.3)
	FEB								270 (82.4±10.3)
	ABR								39 82.9±10.3)
	MAY						305 (88.6±8.8)		200 (83.3±8.3)
	JUN	202 (102.9±10.9)	200 (96.9±9.3)						200 (83.5±7.0)
	JUL								200 (85.0±9.3)
	AGO	201 (121±17.7)	217 (84.8±7.1)						200 (80.0±8.2)
	SEP		318 (92.0±11.6)						204 (92.9±9.3)
	OCT		108 (87.4±9.1)						46 (93.7±12.3)
	NOV								200 (85.5±9.9)
	DIC								37 (84.9±9.2)
1985	FEB				28 (91.3±16.0)				
	MAY		31 (88.7±11.8)						
	JUN		148 (105.6±8.7)						
	JUL		99 (113.6±14.4)			120 (106.3±8.1)			
1986	FEB	100 (110±8.7)							
	AGO	31 (95.2±14.6)							
1990	ABR	113 (116.8±13.8)							
	JUN		34 (74.3±10.7)						
	JUL		63 (82.6±11.6)						
	JUL		27 (93.1±8.7)						
	AGO			103 (91.1±15.9)			94 (88.9±8.9)	73 (89.5±8.8)	
	AGP			26 (72.7±9.7)			76 (89.5±8.8)	97 88.9±8.9)	
	SEP			101 (91.2±16.1)					
	NOV		27 (50.6±22.6)					140 (101.1±14.3)	

**Tabla 2.** Resultado de los muestreos de tallas del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la zona 2 de la costa occidental de Baja California, México. Muestra (media±Desv. Estd.(mm)).

AÑO	MES	ENSENADA	S. TOMÁS
1994	SEP	106 (109.1±12.1)	
1990	JUL		29 (92.2±10.2)
	AGO		25 (108.8±13.1)
	SEP		100 (98.0±10.0)
	SEP		160 (78.1±6.3)
	SEP		25 (87.6±11.7)
	NOV		29 (89.3±9.9)
1991	FEB		100 (140.0±16.4)

**Tabla 3.** Resultado de los muestreos de tallas del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la zona 3 de la costa occidental de Baja California, México. Muestra (media±Desv. Estd.(mm)).

AÑO	MES	CAMALU	P.S. QUINTÍN	S. QUINTÍN	B. FALSA
1995	AGO	116 (82.3±12.2)			
1990	JUL		32 (78.3±10.0)		
	SEP				27 (100.4±15.2)
	OCT			37 (96.9±17.7)	
	NOV		37 (96.6±17.9)		

## Discusión

Las tallas de erizo rojo presentan distribución unimodal en todas los bancos de pesca, con la moda alrededor de los 80 mm, dado que se respetó en la mayoría de los casos la talla mínima legal anterior. Algunos investigadores reportan distribución bimodal en esta especie, con una primera moda entre 80 y 130 mm y la presencia de una segunda moda en juveniles (<50 mm), lo que los hace bimodales. Esta característica no se detectó, aun cuando se hicieron algunos muestreos especiales para observar esta segunda moda. Los organismos intermedios, que van de 50 a 79 mm, presentan una fuerte mortalidad natural al quedar sin la protección de "dosel o sombrilla" que sí tienen los menores de 50 mm bajo las espinas de los mayores de 80 mm (Tegner, 1989). Este tipo de distribución se ha encontrado en aguas de más de 12 metros de profundidad; en aguas más someras la distribución observada es unimodal (Botsford *et al.*, 1993) Es en estas áreas donde la pesca se realiza con mayor intensidad.

Según Huston *et al.* (1987), existen en la naturaleza ciertos mecanismos que ocasionan cambios en la estructura por tallas de una po-

**Tabla 4.** Tallas en milímetros de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la zona 4 de la costa occidental de Baja California, México. Muestra (media±Desv. Estd.(mm)).

AÑO	MES	VALLE TRANQUILO	EL ROSARIO
1979	DIC		35 (98.0±21.1)
1980	MAY		73 (101.8±18.8)
1985	MAY		162 (108.0±14.1)
	AGO		144 (94.6±11.9)
1986	AGO		170 (93.2±14.0)
1990	MAY		29 (93.7±11.0)
	AGO	210 (100.2±12.4)	
	NOV		55 (95.0±14.3)
1991	AGO		105 (105.3±17.7)

blación, llamados inherentes e impuestos. Los primeros dependen de un fuerte componente genético y los segundos resultan de una heterogeneidad espacial y temporal de las condiciones ambientales. Esto se refleja más en los invertebrados con escaso movimiento, como el erizo rojo, sobre todo en su estructura por tallas. Botsford *et al.* (*op. cit.*) mencionan como causas principales a los mecanismos impuestos, tales como la variabilidad en el reclutamiento, en la tasa de crecimiento y la intensidad y selectividad que se ejerce en los tamaños por la depredación, en este caso por especies tales como la langosta roja *Panulirus interruptus* (Tegner *et al.*, 1983), cangrejos y algunos peces de la familia Labridae (Tegner, 1980; Cowen, 1983), así como por otros equinodermos, tales como algunas estrellas de mar de los géneros *Pycnopodia spp.* y *Dermasterias spp.* (Kenner, 1992). Este factor varía espacialmente en cada sitio en función de la abundancia de depredadores y de la cantidad de refugios, sobre todo grietas. La depredación debe ser más intensa en los bordes de los mantos de algas café, donde se concentran a comer los erizos y la mayoría de sus depredadores.

Otro factor muy importante es la mortalidad por pesca, que opera en aguas de unos 15 metros de profundidad y afecta la sobrevivencia de individuos mayores a los 80 mm, que es la parte plana de la curva y que representa la talla de completa vulnerabilidad a la pesquería. Lelevier *et al.* (1987) calcularon  $Z = 0.66$  en 1984 en la zona 1, lo que revela una alta mortalidad debida a una ligera sobreexplotación.

## Conclusiones

1. La composición por tallas de la población del erizo rojo es unimodal con media de 93.5±13.2 mm.
2. La distribución geográfica de las tallas se ve influida por el efecto, por un lado, de la mortalidad natural, y por otro, de la depredación y la pesca, que son los factores más importantes, sobre todo en los bancos de mayor explotación.

**Tabla 5.** Tasa de mortalidad total (*Z*) del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la zona 1 de la costa occidental de Baja California, México.

AÑO	MES	I. CORONADO	POPOTLA	SALSIPUEDES	CALAFIA	P. NUEVO	I. T. SANTOS	P. BANDA	S. MIGUEL
1984	ENE								1.455
	FEB								1.815
	ABR								1.254
	MAY						1.335		1.662
	JUN	0.508	1.448						2.482
	JUL		1.806				0.573		1.327
	AGO	0.446							
	SEP		0.691						0.918
	OCT		1.465					1.028	0.762
	NOV								2.669
	DIC								1.170
1985	FEB				0.221				
	MAY		1.432						
	JUN		0.996						
	JUL		0.403			0.220			
1986	FEB	1.133							
	ABR	2.696							
1990	ABR	.0350							
	MAY								
	JUL		1.995						
	JUL		2.811						
	AGO			0.995					
	SEP			3.801					
	SEP			2.099					
	NOV		3.490						
1991							1.974		

**Tabla 6.** Tasa de mortalidad total (Z) del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la zona 2 de la costa occidental de Baja California, México.

AÑO	MES	ENSENADA	SANTO TOMÁS
1984	OCT	1.028	
1990	JUL		1.705
	AGO		0.978
	SEP		0.622
	SEP		1.171
	SEP		2.487
	NOV		0.866
1991	FEB		0.677

**Tabla 7.** Tasa de mortalidad total (Z) del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la zona 3 de la costa occidental de Baja California, México.

AÑO	MES	SANTO TOMÁS	CAMALU	PUNTA S. QUINTÍN	SAN QUINTÍN	BAHÍA FALSA
1986	AGO		2.061			
1990	JUL	1.705		0.448	0.448	
	AGO	0.978				
	AGO					
	SEP	0.622				0.401
	SEP	1.171				
	SEP	2.487				
	NOV	0.866		1.486	1.486	
1991	FEB	0.677				

- La extracción de individuos mayores a los 80 mm disminuye la capacidad de protección "por dosel" en los juveniles, que así quedan expuestos a una mayor depredación.
- La tasa de mortalidad total (Z) fue superior en la zona de pesca 1, que comprende de Islas Coronado a Punta Banda al sur y presenta antecedentes de sobreexplotación.

## Referencias bibliográficas

BOTSFORD, L. W., J. F. Quinn, S. R. Wing, and J. G. Brittnacher. 1993. Rotating spatial harvest of a benthic invertebrate, the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. Management strategies for exploited fish populations. *Alaska Sea Grant College Program*: pp. 409-427.

BOTSFORD, L. W.; B. D. Smith and J. F. Quinn. 1993. Bimodality in size distributions: the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*, as an example. *Ecol. Appl.* 4: 42- 50.

COWEN, R. K. 1983. The effect of sheephead (*Semicossyphus pulcher*) predation on red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* populations: an experimental analysis. *Oecologia* (58):249-255.

**Tabla 8.** Tasa de mortalidad total (Z) del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en la zona 4 de la costa occidental de Baja California, México.

AÑO	MES	VALLE TRANQUILO	EL ROSARIO
1985	MAY		0.651
	AGO		0.922
1986	AGO		0.987
1990	MAY		1.150
	AGO	1.371	
	NOV		1.621
1991	AGO		1.387

ESPINO B., E.; R. Cibrian y A. García B. 1996. Estructura y densidad de la población del erizo tinta, *Diadema mexicanum*, en el litoral del estado de Colima. *Ciencia Pesquera* 12:60-67.

FARÍAS, S. J. A. 1980. Observaciones preliminares de una población de erizos *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California. *Tesis de Licenciatura. ESCM-UABC*. 94 pp.

HUSTON, M. A. and D. L. Angelis. 1987. Size bimodality in monospecific populations: a critical review of potential mechanisms. *American Naturalist* 129(5):678-707.

KALVASS, P. 1992. The northern California commercial sea urchin fishery. A case study. In: The management and enhancement of sea urchins and other kelp resources. A Pacific rim perspective. *California Sea Grant Report No. T-CSGCP-028*.

KENNER, K. 1992. Population dynamics of the red sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* in a central California kelp forest: recruitment, mortality, growth, and diet. *Marine Biology* (112):107-118.

LELEVIER, A. y J. Palleiro 1987. Evaluación preliminar de erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* en Baja California. *Memorias del Simposium sobre Investigación en Biología Pesquera en México. Abril de 1987*. pp. 139-146.

PALLEIRO N., J. S. 1982. Estimación de la densidad y crecimiento del erizo rojo *Strongylocentrotus franciscanus* para la zona de Sto. Tomás, Baja California, México. *Tesis Profesional ESCM-UABC*. 44 pp.

SPARRE, P.; E. Ursin y S. C. Venema. 1990. Introducción a la evaluación de stocks de peces tropicales. Parte 1-Manual y Parte 2. *FAO Fisheries Tech. Paper 306/1 y 306/2*. 429 pp.

TEGNER, M. 1980. Multispecies considerations of resource management in Southern California kelp forest. In: Proceedings of the Workshop on the Relationship Between Sea Urchin Grazing and Commercial Plant/Animal Harvesting. *Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. Canada* (954):125-143.

TEGNER, M. and L. A. Levin. 1983. Spiny lobsters and sea urchin: analysis of a predator-prey interaction. *J. Exp. Marine Biol. Ecol.* (73):125-150.

\_\_\_\_\_. 1989. The feasibility of enhancing red sea urchin, *Strongylocentrotus franciscanus* stocks, in California. An analysis of the options. *Marine Fisheries Review* 51(2):1-21.