

Abundancia y estructura poblacional de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) (Bivalvia: Pteriidae) en el litoral oriental de Baja California Sur, México

Abundance and population structure of the pearl oyster *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) (Bivalvia: Pteriidae) on the eastern coast of Baja California Sur, Mexico

Humberto Wright¹, Oscar Holguín¹ y Francisco Arreguín¹

¹Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-IPN. Apdo. Postal 592, C.P. 23000. La Paz, Baja California Sur, México
oholguin@ipn.mx

Abstract.- This study describes the abundance and size structure of the pearl oyster *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) of natural stocks on the eastern coast of South Baja California (28°-23°LN), from 1997 to 1999, at 44 sampling stations. The greatest abundances were registered in the La Paz Bay, Gaviota Beach station (13.89 ± 3.93 ind. 100 m⁻²) and at Punta Base. San José Island and Loreto-Montserrat showed lower and similar abundances between stations. Stations Ligüi Bay and El Faro had the greater abundances for the Loreto region. Our results show significant differences in size structure of the pearl oyster between geographical regions. The population of La Paz Bay was characterized by oysters recently established (9.5 to 13.5 mm) and medium size oysters (70 to 80 mm), in comparison with the San José Island and Loreto-Montserrat populations, with oysters from 110 to 150 mm. The pearl oysters with greater height were found on San José Island ($102.79 < X < 174.81$ mm confidence limits) and the Espíritu Santo station ($98.64 < X < 167.46$ mm confidence limits), respectively. Our results were quite similar to the abundances and structure of the *Pinctada mazatlanica* populations of Panama coast and of *P. margaritifera* of the French Polynesia.

Key words: Pearl oyster, size-abundance, Gulf of California

Resumen.- Este estudio describe la abundancia y estructura de tallas en poblaciones naturales de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) en el litoral oriental de Baja California Sur (28°-23°LN), desde 1997 a 1999, en 44 estaciones de observación. Las mayores abundancias se registraron en bahía de La Paz estación playa Gaviota ($13,89 \pm 3,93$ ind.100 m⁻²) y en punta Base. La isla San José y Loreto-Montserrat mostraron bajas y similares abundancias entre estaciones. Las estaciones bahía de Ligüi y el Faro tuvieron la mayor abundancia para la región de Loreto. Nuestros resultados muestran diferencias significativas en la estructura de tallas de la madreperla entre regiones geográficas. La población de bahía de La Paz se caracterizó por ostras recientemente establecidas (9,5 a 13,5 mm) y ostras medianas (70 a 80 mm), a diferencia de la población de la isla San José y Loreto-Montserrat con ostras de 110 a 150 mm. Las ostras perleras de mayor altura se registraron en la isla San José ($102,79 < X < 174,81$ mm de intervalo de confianza) y en la estación Espíritu Santo ($98,64 < X < 167,46$ mm de intervalo de confianza), respectivamente. Nuestros resultados fueron muy similares a las abundancias y estructura de las poblaciones de *Pinctada mazatlanica* de la costa de Panamá y de *P. margaritifera* de la Polinesia francesa.

Palabras clave: Ostra perlera, abundancia-altura, golfo de California

Introducción

El uso de las ostras perleras como recurso marino data desde la antigüedad siendo más extensivo en el golfo Pérsico, el golfo de Mannar, el mar Rojo, las costas orientales de África, China y Japón; desde el siglo XVI, Venezuela, Panamá y Baja California; y desde el siglo XIX, el norte de Australia, Oceanía y las costas del sudeste asiático. En todas las regiones perleras del mundo, entre los años 1940 y 1950 se agotaron los bancos o placeres perleros. A partir de esos años la pesca de ostras perleras se convirtió en una actividad marginal que solo se realizaba al combinarla con la extracción de otros productos (Cariño-Olvera & Monteforte 1999).

El archipiélago de las Tuamotu, Polinesia Francesa fue una de las primeras regiones perleras en las que se tomaron medidas serias para detener el agotamiento de los bancos de *Pinctada margaritifera*. El naturalista Bouchon-Brandelely realizó una investigación sobre la condición de los bancos de esta especie y sugirió establecer una temporada anual de pesca instituyendo decretos en los límites de tallas y pesos de las ostras (Kunz & Stevenson 1993).

En el golfo de California el primer caso de agotamiento severo de los bancos naturales de la madreperla *P. mazatlanica* (Hanley, 1856) fue denunciado en 1769. Después de años de inactividad pesquera los

bancos perleros del golfo de California se repoblaron y su explotación se reanudó hacia 1830. Desde entonces y durante los cien años siguientes tuvo lugar el período de mayor continuidad e intensidad de extracción de madreperla en la región. La explotación de los bancos perleros se intensificó notablemente a partir de la introducción de la escafandra en 1874 (Monteforte 1991, Cariño-Olvera & Monteforte 1999).

En 1939, cuando se pensaba que las ostras perleras habían prácticamente desaparecido, el Gobierno Federal decidió finalmente dictar una veda permanente, declarando a la madreperla *P. mazatlanica* y la concha nácar *Pteria sterna* en la categoría de 'especies en peligro de extinción'. Este decreto fue modificado en 1994 y las dos especies fueron reubicadas en la categoría de 'especies bajo protección especial' (NOM-059-ECOL-1994).

Actualmente el estudio de las poblaciones de ostras perleras en diferentes partes del mundo constituye una prioridad en el manejo y protección de este valioso recurso. Las evaluaciones de las poblaciones de ostra perlera de labio dorado *Pinctada maxima* se realizan de manera regular; estos estudios abarcan el diseño de modelos matemáticos de la predicción del cambio poblacional lo cual ha permitido mantener la rentabilidad de las actividades de perlicultivo (Hart & Friedman 2004). Otros estudios han realizado la determinación de la distribución, abundancia, estructura de tallas y proporción de sexos en la población de *P. margaritifera* en las costas de Kenya (Kimani & Mavuti 2002), mientras que en Costa Rica se han retomado los estudios biológicos y ecológicos de *P. mazatlanica* en el golfo de Nicoya (Solano-López *et al.* 1997).

Pinctada mazatlanica se distribuye desde las costas del Pacífico mexicano hasta Paita en Perú (Keen 1971), habita fondos de arrecife rocoso y coralino desde la zona intermareal hasta los 30 m de profundidad (Sevilla 1969). Su periodo reproductivo ocurre durante los meses de altas temperaturas en verano, cuando las ostras alcanzan el estado de madurez a partir de junio, pero los años con influencia del fenómeno de El Niño muestran un aumento del número de periodos de desove (García-Domínguez *et al.* 1996, García-Cuellar *et al.* 2004). La recolecta de la semilla de madreperla (definida como la larva pedivelígera que se ha fijado permanentemente a la superficie de algún objeto u organismo vivo, así como también se considera a los bivalvos entre 2 y 5 mm de altura de la concha, Saucedo 1995) en años típicos, se realiza durante agosto y septiembre (Monteforte & García-Gasca 1994), pero registrándose más periodos de recolecta coincidente con el incremento del número de

desoves en años atípicos (Wright & Monteforte 1995¹, Wright 1997). El crecimiento de madreperla en cultivo se ha estudiado ampliamente (Morales-Mulia 1996) y en condiciones de repoblamiento en la bahía de La Paz (Saucedo 1995, Saucedo & Monteforte 1997). También se han estimado los parámetros de crecimiento y mortalidad de individuos de *P. mazatlanica* de los bancos naturales del litoral oriental de Baja California Sur (Wright *et al.* 2009). La evaluación preliminar de los bancos naturales en la bahía de La Paz fue realizada por Monteforte & Cariño-Olvera (1992) y Monteforte (2003) donde ya hacen énfasis en la disminución de la densidad de madreperla en los bancos naturales. González-Medina *et al.* (2006) mencionan densidades de 1 ind. 100 m⁻² para bancos del Archipiélago de Espíritu Santo.

El presente estudio aporta información sobre el estado de las poblaciones de la madreperla *Pinctada mazatlanica* en el litoral oriental de Baja California Sur en términos de la variación geográfica de la abundancia y la estructura de alturas en los bancos naturales.

Material y métodos

Ubicación de los bancos naturales y áreas de muestreo

Los placeres perleros de madreperla *Pinctada mazatlanica* en la costa oriental de Baja California Sur fueron localizados entre los 28° y 23°LN, y ubicados en dos de los antiguos distritos de pesca de madreperla: el del centro, que comprende a la bahía de Loreto y el del sur, en la bahía de La Paz (Félix-Pico 1996, Cariño-Olvera & Monteforte 1999).

Se estableció una red de estaciones de muestreo en la bahía de Loreto con 12 estaciones, abarcando localidades en la costa y en las islas aledañas (Coronados, Carmen y Danzante). El área de Ligüí (al sur de la bahía) y la isla Montserrat comprendieron nueve estaciones de muestreo. Para la bahía de La Paz se establecieron 10 estaciones de muestreo; por restricciones operativas se evaluaron únicamente un sitio en la isla Ballena y otro en la isla Espíritu Santo, y se evaluaron 11 estaciones en la isla San José (norte de la bahía). En total se estudiaron 44 estaciones en dos bahías y siete islas. Esta red de estaciones cubrió aquellos sitios donde se comprobó la existencia de placeres o bancos de ostras naturales de importancia (Fig. 1).

¹Wright H & M Monteforte. 1995. Ecology of pearl oyster spat collection in bahía de La Paz, South Baja California, México: Temporal and vertical distribution, substrate selection, associated species. Abstracts of International Congress Aquaculture '95, San Diego, California, 535.

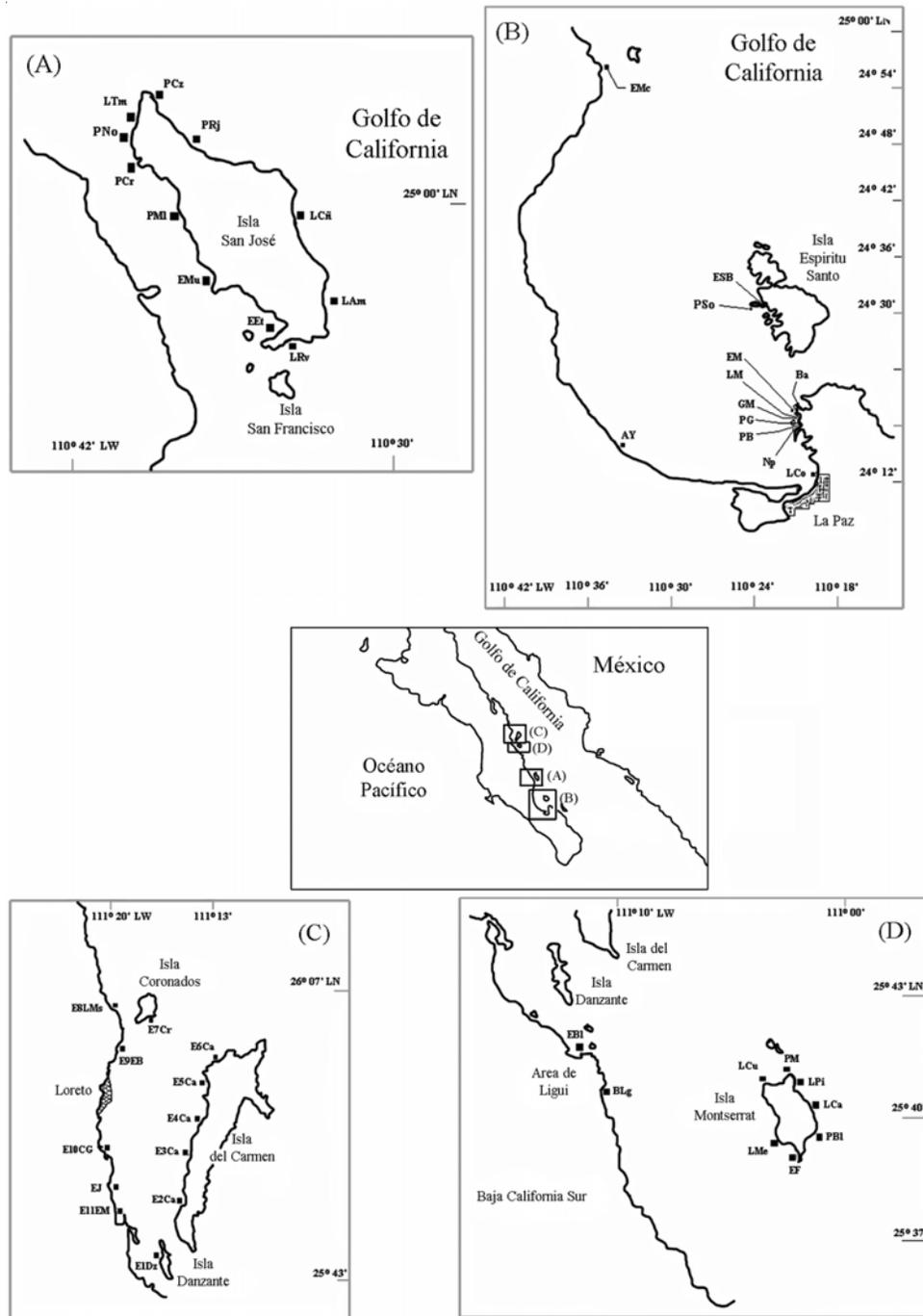


Figura 1

Ubicación geográfica de los bancos naturales de *Pinctada mazatlanica* en el litoral oriental de Baja California Sur:
 A) Bahía de Loreto, B) Isla Montserrat-Bahía de Ligüi, C) Isla San José y D) Bahía de La Paz.

Las claves por estación se indican en la Tabla 1

Geographical location of natural stocks of *Pinctada mazatlanica* in the eastern coast of South Baja California:

A) Loreto Bay, B) Montserrat Island-Ligüi Bay, C) San José Island and D) La Paz Bay.

Station key names are indicated in Table 1

La evaluación en abundancia y estructura de alturas en los diferentes sitios de muestreo se cubrió desde 1997 a 1999, comprendiendo un año de evaluación para cada estación de observación. El registro de la abundancia se realizó desde la zona intermareal hasta un máximo de 6 m de profundidad correspondiendo únicamente a bancos someros de *Pinctada mazatlanica*.

Ajuste del tamaño de muestra para estimar abundancia

El número de cuadrantes a aplicar en cada área de evaluación dependió de la abundancia en el área, de tal manera que para hacer comparables áreas de diferente abundancia se ajustó el esfuerzo de observación para que este fuera representativo en cada sitio. De esta manera fue posible comparar las abundancias de los diferentes emplazamientos.

Para tal efecto el número de cuadrantes de determinada área se ajustó por medio de la estimación del error máximo relativo:

$$n = \left(\frac{t(n-1) * s}{\varepsilon * x} \right)^2$$

donde t = percentil de distribución t de Student, n = tamaño de la muestra, s = varianza, x = abundancia media en términos de abundancia y ε = error máximo relativo (Sparre & Venema 1998). El error máximo relativo se calculó para tener un mínimo de 5% y un máximo de 30%. Los percentiles de la t de Student fueron calculados para un intervalo del 95% de confianza. Para tal efecto se realizó un muestreo prospectivo con la metodología de cuadrantes paralelos a la costa en las estaciones de las islas San Juan Nepomuceno y Montserrat. De esta información se obtuvieron los valores de abundancia media y varianza para el ajuste de la ecuación.

La ubicación de bancos naturales se realizó mediante buceo libre en todas las localidades; se observaron las áreas rocosas y de manera visual se determinaron los sitios para la evaluación de los bancos. Estos sitios tenían el sustrato adecuado para la proliferación de la madreperla y la presencia de individuos de *P. mazatlanica*.

Los censos se realizaron mediante el método de las distancias propuesto por Gallucci *et al.* (1996). El procedimiento consistió en fijar un transecto de una longitud determinada ' l ' (50 m) en donde las observaciones se hicieron en el ámbito de vista del observador (1 m a cada lado del transecto) constituyendo un cuadrante de 100 m². De esta manera se dispuso de una base de datos de los individuos contenidos en un área determinada.

El transecto, elaborado de cabo de plástico de 50 m lineales, a su vez fue lastrado cada 10 m y extendido al azar, sin tomar ningún criterio *a priori* para su ubicación. Cada cuadrante fue lanzado paralelamente a la costa para lograr el área de 100 m², ya que el submareal rocoso es muy estrecho, con un máximo de hasta 25 m en la mayoría de los sitios. Los cuadrantes se ubicaron en sitios donde se observó la presencia de madreperla. Los censos y registro de estructura de tallas fueron realizadas mediante buceo libre o buceo SCUBA y los datos se anotaron en tablillas de acrílico.

En dos estaciones no se obtuvo registro de abundancia, por lo que las gráficas de variación geográfica de abundancia muestran solo 42 estaciones.

Estructura de alturas

Las alturas de ostras perleras en los bancos naturales fueron registradas mediante buceo SCUBA en un periodo de tres años, de 1997 a 1999. Los organismos encontrados fueron medidos sin ser removidos del sitio usando un vernier (0,01 mm) considerando la altura de la concha o medida dorso-ventral (MDV), distancia comprendida entre la charnela y el margen de las valvas, excluyendo los procesos de crecimiento.

Sólo en 26 estaciones de muestreo se logró obtener la información suficiente para expresar el intervalo de confianza de la media de altura, por lo que se excluyó el resto de las estaciones.

Análisis estadístico

Los datos de frecuencias de abundancias fueron evaluados para comprobar su normalidad (Kolmogorof-Smirnov y χ^2) e igualdad de varianzas (estadísticos de Hartley y Levene). Al no cumplir con estos supuestos los contrastes entre sitios se realizaron mediante la prueba de comparación de medias por rangos de Kruskal-Wallis. Las diferencias entre las medias de abundancia fueron analizadas por medio de la prueba de Dunnet al 90% de confianza (Zar 1984).

La distribución de frecuencias de la estructura de tallas por estación y entre bahías e islas fueron contrastados para probar su normalidad mediante pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorof-Smirnov y χ^2) e igualdad de varianzas (estadísticos de Hartley y Levene). Las bases de datos que cumplieron con las consideraciones para análisis paramétricos permitieron comparar las diferencias entre sitios mediante análisis de la varianza de una vía ANOVA. Las diferencias entre las medias de altura fueron analizadas por medio de la prueba de Tukey al 95% de confianza (Zar 1984). Se calcularon los intervalos de confianza para las medias de altura al 90% para cada sitio.

Las comparaciones de abundancia y estructura de tallas se realizaron en dos niveles de resolución geográfica: 1) Entre regiones, bahías contra islas, y 2) Entre sitios, comparando las distintas estaciones. Las pruebas estadísticas se efectuaron con el programa Statistica v. 6.0 de StatSoft Inc.

Resultados

Tamaño mínimo de muestra

Se calculó el número mínimo de cuadrantes a lanzar para obtener un error máximo relativo de 30% en las estimaciones y de esta manera hacer comparables entre sí las abundancias en los diferentes bancos a evaluar. Para ello comparamos la variación del error relativo según los intervalos de abundancia de 0,4-2,4, de 2,8-4,8 y de 5,2-8,0 ind. 100 m⁻². Al evaluar 17 cuadrantes para cada grupo de abundancia, los datos de abundancia se obtuvieron de muestreos prospectivos en la bahía de La Paz, estación isla Nepomuceno e isla Montserrat, estaciones La Medusa y El Faro. Los promedios de abundancia por cuadrante y su varianza permitieron calcular la ecuación del error máximo relativo (Fig. 2).

Los resultados del muestreo prospectivo de abundancia de *P. mazatlanica* mostraron que para obtener un 30% máximo de error en la determinación de la abundancia en cuadrantes de 100 m² se requieren 33,5 cuadrantes cuando la abundancia está en el intervalo de 0,4 a 2,4 ind. 100 m⁻², 29,4 cuadrantes para una abundancia de 2,8 a 4,8 ind. 100 m⁻² y 4,5 cuadrantes para abundancias de 5,2 a 8 ind. 100 m⁻².

Los datos de abundancia que mostramos constituyen el esfuerzo de búsqueda en el periodo 1997-1999, en el cual se promedió un máximo de 18 cuadrantes por estación considerando el conjunto de observaciones anuales, alcanzando así un error máximo relativo de 15% para las estaciones de alta abundancia y de 40% de error para las estaciones de abundancia media y baja.

En los casos en los que no fue posible hacer repeticiones de los cuadrantes, la abundancia se muestra como un valor puntual, y aunque no son predictivos, se consideró importante mostrar estos datos debido a la escasez de información respecto de las poblaciones de *P. mazatlanica* en Baja California Sur.

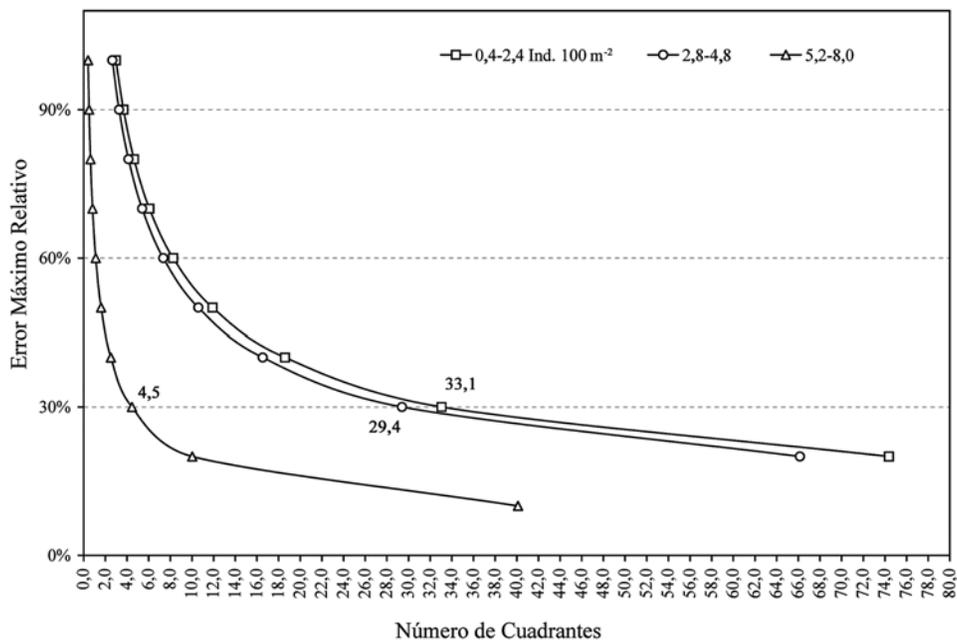


Figura 2

Determinación del tamaño mínimo de muestra, número de cuadrantes de 100 m² a lanzar para obtener un error máximo relativo del 30%

Determination of minimum sample size, number of 100 m² quadrants to obtain a maximum relative error of 30%

Variación geográfica de la abundancia de *Pinctada mazatlanica*

La Fig. 1 muestra la ubicación geográfica de las estaciones de muestreo y en la Tabla 1 se muestran las claves para cada estación, los valores promedio de abundancia y desviación estándar, así como los intervalos de confianza al 95% para las alturas de madreperla de los bancos naturales en la bahía de La Paz, isla San José, Loreto y Montserrat-Ligüi.

La distribución de frecuencias de abundancia no se ajustó a una distribución normal ($K-S = 0,25, P < 0,01; \chi^2 = 153,14, df = 3, P < 0,001$). Las abundancias de los bancos de *P. mazatlanica* en la bahía de La Paz mostraron diferencias significativas ($H_{(5, N=163)} = 98,6, P = 0,00$) con la de los bancos de las isla San José y Montserrat y la bahía de Loreto (Fig. 3). Las altas abundancias observadas en la bahía de La Paz corresponden a las estaciones de El Merito $8,92 \pm 4,86$, laguna del Merito $10,60 \pm 2,55$, playa Gaviota $13,89 \pm 20,16$ y punta Base, con un solo muestreo, se registraron $13,82 \text{ ind. } 100 \text{ m}^{-2}$. Las abundancias desglosadas por estación hacen evidente este patrón de diferencias significativas de la abundancia (Fig. 4). Las menores abundancias se observaron en las estaciones de bahía de Loreto junto con la isla Carmen Estación 4 con $0,35 \pm 0,19 \text{ ind. } 100 \text{ m}^{-2}$. Las estaciones

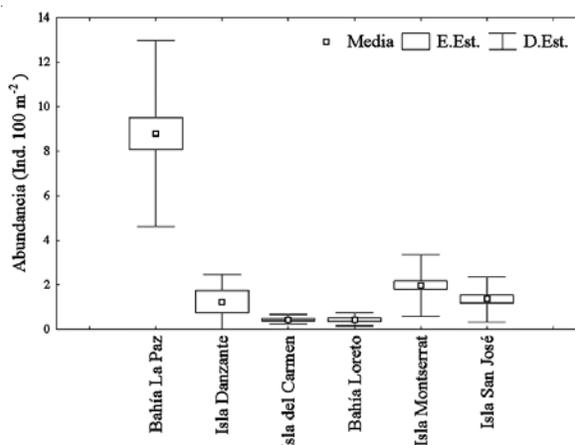


Figura 3

Abundancia de *P. mazatlanica* (media \pm DEs) en bahías e islas del litoral oriental de Baja California Sur

Abundance of *P. mazatlanica* (average \pm SD) at bays and islands of the eastern coast of South Baja California

ubicadas en isla Montserrat mostraron un ligero aumento de la abundancia siendo las más abundantes las estaciones La Medusa con $2,55 \pm 2,02$ y El Faro con $2,94 \pm 0,59 \text{ ind. } 100 \text{ m}^{-2}$.

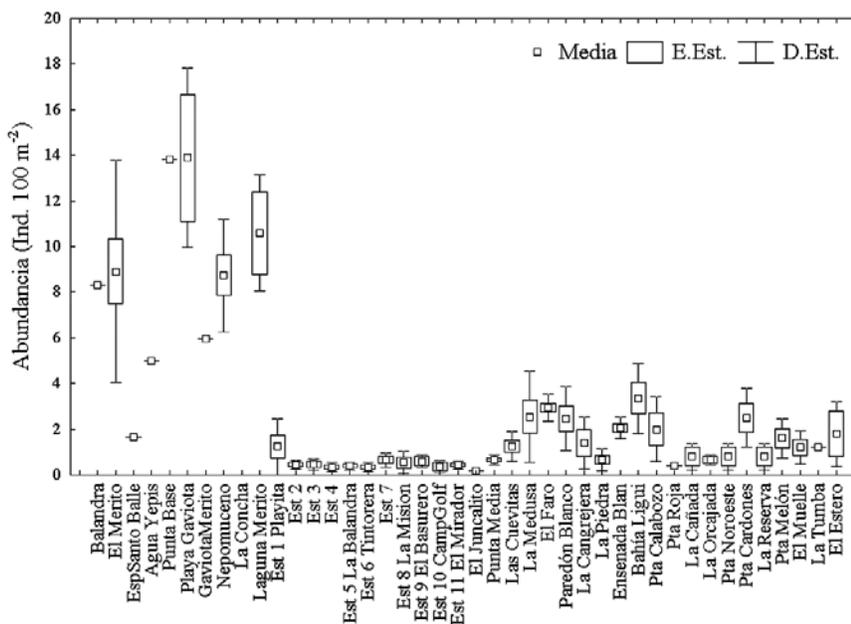


Figura 4

Abundancia de *P. mazatlanica* (media \pm DE) de bancos naturales en diferentes estaciones del litoral oriental de Baja California Sur

Abundance of *P. mazatlanica* (average \pm SD) at wild beds at different sample stations of the eastern coast of South Baja California

Tabla 1

Abundancia y estructura de alturas de *P. mazatlanica* en el litoral oriental de Baja California SurAbundance and height structure of *P. mazatlanica* in the eastern coast of South Baja California

Estación	Clave	Intervalo de Confianza de altura al 90%	Abundancia Media \pm D. E. (Ind. 100 m ⁻²)
Bahía de La Paz			
Balandra	Ba	50,42 < X < 137,44	8,44 *
El Merito	EM	69,77 < X < 84,52	8,92 \pm 4,86
Laguna del Merito	LM	55,24 < X < 63,18	10,60 \pm 2,55
Gaviota-Merito	GM	3,03 < X < 74,25	5,95 *
Playa Gaviota	PG	9,27 < X < 34,33	13,89 \pm 3,93
Punta Base	PB	14,14 < X < 20,16	13,82 *
Nepomuceno	Np	70,91 < X < 75,43	8,74 \pm 2,49
La Concha	LCo	39,76 < X < 66,20	12,50 *
Agua de Yepis	AY	29,11 < X < 148,09	5,00 *
El Mechudo	EMc	118,70 < X < 131,72	-----
Espiritu Santo	ESB	98,64 < X < 167,46	1,67 *
Punta Suroeste-Ballena	PSo	117,73 < X < 132,59	-----
Isla San José			
Punta Calabozo	PCz	90,04 < X < 110,56	2,00 \pm 1,42
Punta Roja	PRj	45,00 < X < 85,00	0,40 *
La Cañada	LCñ	-----	0,80 \pm 0,57
La Amortajada	LAm	-----	0,67 \pm 0,23
La Reserva	LRv	-----	0,80 \pm 0,57
El Estero	EEt	79,90 < X < 109,97	1,80 \pm 1,41
El Muelle	EMu	97,31 < X < 129,97	1,20 \pm 0,73
Punta Melón	PMl	102,99 < X < 140,23	1,60 \pm 0,86
Punta Cardones	PCr	113,34 < X < 131,85	2,50 \pm 1,28
Punta Noroeste	PNo	102,79 < X < 174,81	0,80 \pm 0,57
La Tumba	LTm	-----	1,20 *
Bahía de Loreto			
Est. 1 Isla Danzante	E1Dz	104,11 < X < 122,42	1,23 \pm 1,22
Est. 2 Isla Carmen	E2Ca	-----	0,45 \pm 0,19
Est. 3	E3Ca	-----	0,47 \pm 0,23
Est. 4	E4Ca	-----	0,35 \pm 0,19
Est. 5 La Balandra	E5Ca	-----	0,40 \pm 0,16
Est. 6 La Tintorera	E6Ca	103,71 < X < 119,02	0,35 \pm 0,19
Est. 7 Coronado	E7Cr	-----	0,65 \pm 0,30
Est. 8 La Misión	E8LMs	-----	0,55 \pm 0,47
Est. 9 El Basurero	E9EB	64,87 < X < 150,73	0,60 \pm 0,28
Est. 10 Campo Golf	E10CG	85,88 < X < 122,12	0,37 \pm 0,26
Est. 11 El Mirador	E11EM	-----	0,44 \pm 0,17
El Juncalito	EJ	80,50 < X < 149,71	0,18 *
Isla Montserrat-Ligüi			
Punta Media	PM	97,98 < X < 132,76	0,67 \pm 0,21
Las Cuevitas	LCu	97,08 < X < 119,60	1,26 \pm 0,67
La Medusa	LMe	108,88 < X < 118,42	2,55 \pm 2,02
El Faro	EF	85,49 < X < 102,91	2,94 \pm 0,59
Paredón Blanco	PBl	97,33 < X < 114,29	2,47 \pm 1,40
La Cangrejera	LCa	91,72 < X < 119,23	1,40 \pm 1,15
La Piedra	LPi	93,64 < X < 119,23	1,40 \pm 1,15
Ensenada Blanca	EBl	109,05 < X < 127,92	2,07 \pm 0,47
Bahía de Ligüi	BLg	96,63 < X < 109,76	3,36 \pm 1,54

Las comparaciones *a posteriori* entre las medias de abundancia evaluadas por Dunnet ($MS=3,2705$, $gl=126,00$, $P < 0,05$) muestran que la abundancia de ostras en las estaciones de la bahía de La Paz Balandra, El Merito, punta Base, playa Gaviota, Nepomuceno, La Concha y Laguna del Merito fue significativamente distinta a la del resto de las estaciones; estas estaciones mostraron las mayores abundancias con amplia dispersión (Fig. 4), pero los promedios de abundancia de las estaciones isla Ballena, Espíritu Santo, Gaviota y Merito no fueron significativamente distintas a las estaciones de San José y de Loreto con sus islas. El conjunto de las estaciones de bahía de Loreto, isla Montserrat, bahía de Ligüi e isla San José no fueron significativamente distintas entre ellas.

Estructura de alturas de la población de *Pinctada mazatlanica*

La distribución de frecuencias de altura mostró una distribución normal para las ostras de los diferentes sitios en la bahía de La Paz estaciones Nepomuceno ($\chi^2 = 4,70$, $df = 6$, $P = 0,58$) y Laguna del Merito ($\chi^2 = 3,87$, $df = 3$, $P = 0,27$), en isla Montserrat las estaciones La Medusa ($\chi^2 = 4,66$, $df = 3$, $P = 0,19$) y El Faro ($\chi^2 = 3,68$, $df = 3$, $P = 0,29$) y el conjunto de las estaciones de Loreto incluyendo las islas del Carmen y Danzante ($\chi^2 = 2,79$, $df = 2$, $P = 0,24$) e igualdad de las varianzas entre las diferentes estaciones (Hartley, $F_{max} = 9,33$, $P = 0,00$; Levene, $F = 3,88$, $P = 0,00$).

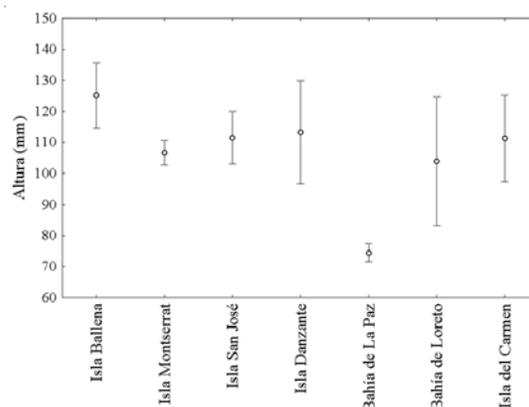


Figura 5

Altura promedio e intervalo de confianza al 90% para individuos de *P. mazatlanica* en diferentes bahías e islas del litoral oriental de Baja California Sur

Average height and confidence interval at 90% for individuals of *P. mazatlanica* at different bays and islands of the eastern coast of South Baja California

Existen diferencias significativas en la estructura de alturas entre bahía de La Paz y las islas San José, Montserrat y bahía de Loreto ($F_{(6,833)} = 44,71$, $P = 0,001$) (Fig. 5), así como entre las estaciones ($F_{(25,814)} = 22,74$, $P = 0,00$) (Fig. 6). Las estaciones de bahía de La Paz se diferencian claramente de los sitios de isla San José, bahía de Loreto e isla Montserrat (Prueba de Tukey $MS = 798,23$, $df = 825$, Tabla 2).

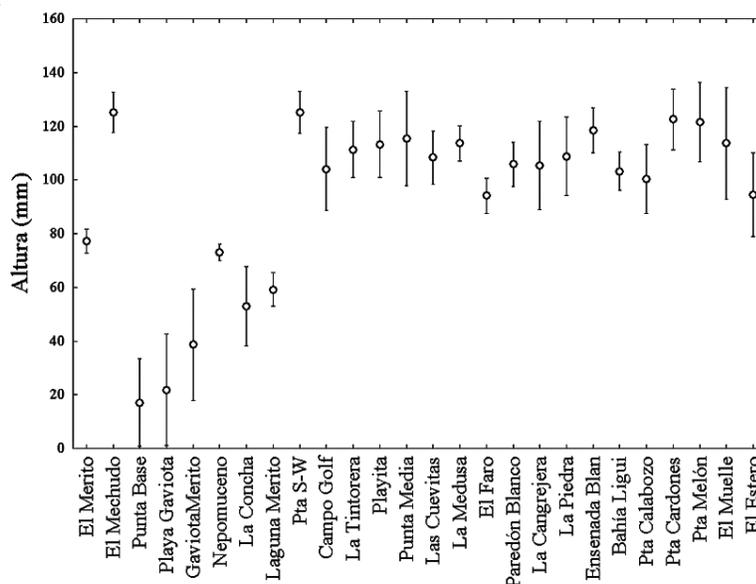


Figura 6

Altura promedio e intervalo de confianza al 90% de *P. mazatlanica* por estación en el litoral oriental de Baja California Sur

Average height and confidence interval at 90% of *P. mazatlanica* by sample station at the eastern coast of South Baja California

Tabla 2

Prueba de Tukey al 95% de confianza entre la estructura de alturas de *Pinctada mazatlanica* entre bahías e islas del litoral oriental de Baja California Sur. Diferencias significativas en negritas y en cursiva

Tukey Test to 95% confidence in the height structure of *Pinctada mazatlanica* between bays and islands on the eastern coast of South Baja California. Significant differences in bold and cursive

Bahía-Isla	1	2	3	4	5	6	7
1 Isla Ballena		<i>0,021</i>	0,595	0,899	<i><0,001</i>	0,510	0,713
2 Isla Montserrat			0,775	0,989	<i><0,001</i>	1,000	0,995
3 Isla San José				1,000	<i><0,001</i>	0,990	0,999
4 Isla Danzante					<i><0,001</i>	0,997	1,000
5 Bahía de La Paz						<i>0,004</i>	<i><0,001</i>
6 Bahía de Loreto							0,999
7 Isla del Carmen							

Las mayores tallas se observan en las estaciones de punta Suroeste en la isla Ballena (Punta SW) y la estructura de tallas es similar a la observada para las estaciones de bahía de Loreto en su conjunto (Fig. 6), los intervalos de confianza para las medias son similares en su variación en las estaciones de punta Suroeste hasta la estación El Estero en isla San José y significativamente diferentes de las estaciones de punta Base a Laguna del Merito. Las estaciones de isla San José son aun de tallas mayores que las observadas en las demás estaciones como en punta Noroeste ($102,79 < X < 174,81$ mm) y punta Cardones ($113,34 < X < 131,85$ mm) y la estación de punta Mechudo muestra una estructura de tallas ($118,70 < X < 131,72$ mm) similar a la de isla San José. Las diferencias con respecto a la bahía de La Paz son debidas a que en esta predominan el intervalo de tallas medianas: estaciones El Merito ($69,77 < X < 84,52$ mm), laguna del Merito ($55,24 < X < 63,18$ mm) y las tallas pequeñas, esto es evidente a partir de la estación Gaviota-Merito ($3,03 < X < 74,25$ mm), playa Gaviota ($9,27 < X < 34,33$ mm) y punta Base ($14,14 < X < 20,16$ mm). Las estación Campo de Golf en la costa de Loreto es semejante a la estructura de tallas de los bancos de *P. mazatlanica* en la isla del Carmen. En la isla Montserrat se observa las mayores tallas en la estación punta Media ($92,98 < X < 132,76$ mm) siendo parecidas las demás estaciones en la isla con excepción de la estación de El Faro donde se observan tallas medianas ($85,49 < X < 102,91$ mm).

Discusión

El estudio de las poblaciones de *Pinctada mazatlanica* en la bahía de La Paz y el archipiélago de Espíritu Santo realizado por Monteforte & Cariño-Olvera (1992)

mencionan las mayores abundancias en el intervalo de 18 a 97 ind. 100 m⁻². Los resultados de este estudio muestran una disminución importante en varios órdenes de magnitud con respecto a los censos de 1992. La estación El Merito, con una abundancia de $8,92 \pm 4,86$ ind. 100 m⁻² ($0,0892$ ind. m⁻²) mostró una disminución del 99,82% de los individuos de *P. mazatlanica* con respecto a los censos de 1992. Las demás estaciones cercanas a El Merito muestran el mismo proceso de disminución de la abundancia, considerándose esta característica asociada a procesos de pesca clandestina en la bahía de La Paz.

Las abundancias máximas reportadas para las costas de Baja California para 1992 fueron de 18 a 97 ind. 100 m⁻² y son similares a las reportadas en 2003 (Monteforte & Cariño 1992, Monteforte 2003); sin embargo, González-Medina *et al.* (2006) reportaron una abundancia promedio para el Archipiélago de Espíritu Santo de 1 ind. 100 m⁻² y que concuerda con nuestras observaciones durante 1997-1999. Solano López *et al.* (1997) censaron una abundancia promedio 242 ± 80 ind. 100 m⁻² en la isla Pan de Azúcar, Golfo de Nicoya, Costa Rica, y Cipriani *et al.* (2008) mencionan una abundancia de 0,167-5,33 ind. 100 m⁻² para el archipiélago de las Perlas y de 0,167-10,33 ind. 100 m⁻² en Coiba en la costa Pacífica de Panamá. Nuestros censos para el periodo 1997-1999 mostraron una densidad máxima para la bahía de La Paz de 9 ind. 100 m⁻² y la abundancia mínima para isla del Carmen y bahía de Loreto de 0,5 ind. 100 m⁻² (Tabla 3).

La prospección de las poblaciones de *Pinctada mazatlanica* la realizamos desde la zona intermareal hasta la submareal con un máximo de 6 m de profundidad. Estudios realizados en las poblaciones de la especie pariente mas cercana, la ostra perlera de labio negro

Tabla 3

Reportes de la abundancia de *Pinctada mazatlanica* en diferentes regiones y sitios en el litoral de las costas del Pacífico Oriental

Reports of the abundance of *Pinctada mazatlanica* by regions and sites in the eastern Pacific coast

Región	Sitios	Abundancia				Referencia
		ind. ha ⁻¹	D. E.	ind. 100 m ⁻²	D. E.	
Bahía de La Paz	Isla Gaviota	3.600,0	1.800,0	36,0	18,0	Monteforte & Cariño (1992)
	Bahía El Merito	7.000,0		70,0	20,0	
		9.700,0		97,0		
	El Sargento	8.500,0	4.300,0	85,0	43,0	
	Puerto Balandra	4.000,0	1.000,0	40,0	10,0	
	Isla Gallo	8.000,0		80,0		
	Gaviota	7.400,0		74,0		
Bahía San Gabriel	6.700,0		67,0			
Golfo de Nicoya	Isla Pan de Azúcar	24.200,0	8.000,0	242,0	80,0	Solano-López <i>et al.</i> (1997)
Bahía de La Paz	Bahía de La Paz	8.000,0		80,0		Monteforte (2003)
		12.000,0		120,0		
		3.000,0		30,0		
		5.000,0		50,0		
Bahía de La Paz	Espíritu Santo	100,0		1,0		González-Medina <i>et al.</i> (2006)
Golfo de Panamá	Las Perlas	16,7		0,167		Cipriani <i>et al.</i> (2008)
		533,3		5,333		
		2,8	6,8	0,028	0,068	
Golfo de Chiquirí	Coiba	238,9	160,8	2,389	1,608	
		16,7		0,167		
		1.033,0		10,33		
		6,0	14,0	0,06	0,14	
		263,9	136,4	2,639	1,364	
Litoral Oriental	Bahía de La Paz	900,0	400,0	9,0	4,0	Presente estudio 1997-1999
Baja California Sur	Isla Danzante	100,0	150,0	1,0	1,5	
	Isla Carmen	50,0	50,0	0,5	0,5	
	Bahía de Loreto	50,0	50,0	0,5	0,5	
	Isla Montserrat-Ligüi	200,0	100,0	2,0	1,0	
	Isla San José	150,0	100,0	1,5	1,0	

Pinctada margaritifera, en las costas de Kenya, muestran que la mayor abundancia de esta especie está ubicada en la zona intermareal y el submareal somero con un intervalo de profundidad de 0 a 5 m (Kimani & Mavuti 2002). Estas observaciones se han reiterado en estudios con otras especies de ostras perleras registrando sus mayores abundancias en aguas someras de menos de 6 m de profundidad (Tomaru *et al.* 1999). Las abundancias de *Pinctada mazatlanica* en Baja California Sur son equivalentes en magnitud a las observadas para *P. margaritifera* de los atolones de las islas Cook donde se ha reportado en Penrhyn y Manihiki una abundancia de $2,0 \pm 4,0$ ind. 100 m⁻² (Sims 1992) y también son semejantes a las abundancias de reportadas para el atolón de Takapoto, en la Polinesia Francesa, con $1,0 \pm 0,8$ ind. 100 m⁻² (Zanini & Salvat 2000).

La estructura de tallas en los estudios de 1992 (91,78 mm en promedio de altura de la concha) para la fracción de costa El Merito a Playa Gaviota es semejante a la que observamos en el presente estudio. Es evidente la ausencia de ostras grandes de más de 110 mm de altura en la costa occidental de la bahía de La Paz, las cuales solo estuvieron presentes en las estaciones de la isla Espíritu Santo, Agua de Yepis y El Mechudo (Tabla 1, Fig. 6). Las estaciones ubicadas entre la Laguna de Balandra y la playa turística de La Concha son las que muestran la ausencia de ostras de tallas mayores, aunque aún se pueden encontrar individuos de tallas medianas como en la estación Nepomuceno ($70,91 < X < 75,43$ mm).

No obstante en esta área se registró la presencia de semilla de madreperla de reciente establecimiento con

importantes abundancias como en la playa rocosa Gaviota-Merito ($3,03 < X < 74,25$ mm), playa Gaviota ($9,27 < X < 34,33$ mm) y punta Base ($14,14 < X < 20,16$ mm), que mostraron ostras con un periodo de vida de dos meses y pertenecientes a las cohortes anuales. Las semillas de madreperla fueron ubicadas en la franja entre mareas de las playas de consolidado rocoso, donde es típica una franja de macroalgas de alta riqueza de especies.

La presencia de la semilla de *Pinctada mazatlanica* en el intermareal rocoso concuerda con la teoría de estabilidad-depredación. Como se ha mencionado, la depredación disminuye en la zona de alta dinámica-baja estabilidad como el intermareal rocoso, ya que los depredadores móviles disminuyen su capacidad de desplazamiento por efecto del oleaje y el incremento de temperatura y salinidad conforman un hábitat de condiciones extremas en términos fisiológicos (Menge & Sutherland 1976, Sutherland & Karlson 1977, Menge & Sutherland 1987).

Las características oceanográficas presentes en la costa occidental de la bahía de La Paz son variables de importancia en el proceso de reclutamiento de madreperla en las costas rocosas. Álvarez-Arellano *et al.* (1997) mencionan que la estructura y distribución de determinadas especies de radiolarios sugiere la formación de una celda de circulación general en la bahía y otra pequeña celda en la región sureste, de sentido opuesto a las manecillas del reloj, debido al efecto de los vientos. Jiménez-Illescas *et al.* (1997) denotan un efecto de entrada de agua a la bahía de La Paz por corrientes de marea y un efecto de circulación fuera de la bahía debido al viento del noroeste. Estas características oceanográficas causan un efecto de estancamiento del cuerpo de agua en la zona costera occidental de la bahía en la franja de El Merito-punta Base lo que trae consigo el retardo de tiempo suficiente para que la población larvaria de *Pinctada mazatlanica* y de otras especies como *Pteria sterna*, lleguen a la fase de metamorfosis para establecerse en las zonas rocosas y colectores artificiales. En adición, Álvarez-Arellano *et al.* (1997) hacen evidente que la región de la franja costera oriental de bahía de La Paz es una zona de surgencias lo que incrementa la productividad de la bahía y favorece el desarrollo larvario de diversas especies.

Las poblaciones de *Pinctada mazatlanica* en la isla San José muestran una estructura de tallas y abundancias similares a las observadas en la bahía de Loreto e isla Montserrat. En esta isla, los bancos están caracterizados por tallas grandes. Los bancos de bahía de Loreto muestran una población con baja dinámica poblacional

compuesta de ostras de talla grande y mediana, lo que sugiere que el reclutamiento de las ostras actuales se realizó varios años atrás y fue prácticamente indetectable la presencia de los individuos de la cohorte anual. Antecedentes respecto de la biología larvaria de *Pinctada mazatlanica* señalan que este periodo dura alrededor de 32 días hasta el momento en que las larvas son competentes para el establecimiento en el bentos rocoso (Mazón-Suastegui 1987). Es posible que los bancos de *P. mazatlanica* fuera de la bahía de Loreto hacia el norte desde las puntas Santa Rosa y Santa Teresa, constituyan los grupos de reproductores que generan las cohortes de larvas que se establecen en la región de Loreto-Montserrat.

El efecto de reserva marina del Parque Nacional bahía de Loreto tiene su expresión en la composición de tallas grandes de *P. mazatlanica* en la mayoría de las estaciones, pero el proceso de activación del reclutamiento en los bancos naturales sería promovido con el desarrollo de cultivos de ostras perleras, que al incrementar la abundancia de la población, aumentaría el éxito reproductivo y por consiguiente favorecería el aumento de la abundancia de larvas de ostras perleras.

El presente estudio debe ser motivo de exhorto a los grupos de investigadores y autoridades para considerar como prioritario el conocimiento de las poblaciones de *P. mazatlanica* como el recurso marino de singular relevancia que es y que requiere de atención inmediata en cuanto a su conocimiento y recuperación.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad de Alicante, España por el apoyo para el doctorado en Ciencias del Mar. También al CONACYT y a los FMCN, COFAA y CGPI-IPN por los apoyos del proyecto 'Estudio de las comunidades marinas litorales de la bahía de Loreto e islas circunvecinas'. Igualmente agradecemos a los revisores de este documento, que enriquecieron con sus acertadas observaciones.

Literatura citada

- Álvarez-Arellano AD, H Rojas-Soriano & JJ Prieto-Mendoza. 1997. Geología de la bahía de La Paz y áreas adyacentes. En: Urbán RJ & M Ramírez (eds). La bahía de La Paz, investigación y conservación, pp. 13-28. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México y SCRIPPS Institute, La Paz, Baja California Sur.
- Cariño-Olvera M & M Monteforte. 1999. El primer emporio perlero sustentable del mundo. La compañía criadora de concha y perla de Baja California S. A. y perspectivas para

- Baja California Sur, 325 pp. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes-Fondo de Cultura y las Artes-Universidad Autónoma de Baja California Sur, México.
- Cipriani R, HM Guzmán & M López. 2008.** Harvest history and current densities of the pearl oyster *Pinctada mazatlanica* (Bivalvia: Pteriidae) in las Perlas and Coiba archipelagos, Panama. *Journal of Shellfish Research* 27(4): 691-700.
- CONANP. 2006.** Estudio previo justificativo para el establecimiento del área natural protegida 'Parque Nacional Espíritu Santo', México DF, 98 pp. CONANP-SEMARNAT, México.
- Félix-Pico FE. 1996.** Las perlas del Golfo de California: historia, importancia y situación actual. *Revista Colegio de Bachilleres, La Paz* 17: 47-57.
- Gallucci VF, SB Sailsa, DJ Gustafson & BJ Rothschild. 1996.** Stock assessment. Quantitative methods and applications for small-scale fisheries, 527 pp. CRC Press Lewis Publishers, Boca Raton.
- García-Cuellar JA, F García-Domínguez, D Lluch-Belda & S Hernández-Vázquez. 2004.** El Niño and La Niña effects on reproductive cycle of the pearl oyster *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856) (Pteriidae) at isla Espíritu Santo in the Gulf of California. *Journal of Shellfish Research* 23(1): 113-120.
- García-Domínguez F, BP Ceballos-Vázquez & A Tripp-Quezada. 1996.** Spawning cycle of the pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), (Pteriidae) at isla Espíritu Santo, Baja California Sur, México. *Journal of Shellfish Research* 15(2): 297-303.
- González-Medina FJ, OE Holguín-Quiñones & G De La Cruz Agüero. 2006.** Variación espacio-temporal de algunos macroinvertebrados (Gasteropoda, Bivalvia y Echinodermata) de fondos someros del Archipiélago Espíritu Santo, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 32: 33-44.
- Hart MA & KJ Friedman. 2004.** Mother-of-pearl shell (*Pinctada maxima*): Stock evaluation for management and future harvesting in Western Australia. FRDC Project No. 1998/153. Fisheries Research Contract Report 10: 1-84.
- Jiménez-Illescas AR, M Obeso-Nieblas & DA Salas-De León. 1997.** Oceanografía física de la bahía de La Paz, B.C.S. En: Urbán RJ & M Ramírez (eds), La bahía de La Paz, Investigación y Conservación, pp. 31-41. Universidad Autónoma de Baja California Sur, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México y SCRIPPS Institute, La Paz.
- Keen M. 1971.** Sea shells of tropical west America. Marine mollusks from Baja California to Peru, 1068 pp. Stanford University Press, Stanford.
- Kimani EN & KM Mavuti. 2002.** Abundance and population structure of the blacklip pearl oyster, *Pinctada margaritifera* L. 1758 (Bivalvia: Pteriidae) in coastal Kenya. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science* 1: 169-179.
- Kunz GF & CH Stevenson. 1993.** The book of the pearl, 193 pp. Dover Publication, New York.
- Mazón-Suastegui JM. 1987.** Evaluación de cinco dietas microalgales en el crecimiento larval de *Modiolus capax* (Conrad, 1837) y *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856), Mollusca: Bivalvia. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Marinos, CICIMAR-IPN. La Paz, 70 pp.
- Menge BA & JP Sutherland. 1976.** Species diversity gradients: synthesis of the roles of predation competition and temporal heterogeneity. *The American Naturalist* 110: 351-369.
- Menge BA & JP Sutherland. 1987.** Community regulation: variation in disturbance, competition and predation relation to environmental stress and recruitment. *The American Naturalist* 130: 730-757.
- Monteforte M. 1991.** Las perlas, leyenda y realidad: un proyecto actual de investigación científica. *Revista Panorama. Nueva Época, UABCS, La Paz, Baja California Sur* 38: 28-31.
- Monteforte M. 2003.** Aprovechamiento racional de las ostras perleras (*Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna*) en Bahía de La Paz, Baja California Sur, México: cultivo, repoblamiento y perlicultura. Informe Final del Proyecto Q008-CONABIO: 1-156.
- Monteforte M & M Cariño-Olvera. 1992.** Exploration and evaluation of natural stocks of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae): La Paz, South Baja California, México. *AMBIO* 21(4): 314-320.
- Monteforte M & A García-Gasca. 1994.** Spat collection studies on pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) in bahía de La Paz, South Baja California, Mexico. Spat collection studies on pearl oysters *Pinctada mazatlanica* and *Pteria sterna* (Bivalvia, Pteriidae) in bahía de La Paz, South Baja California, Mexico. *Hydrobiologia* 291: 21-34.
- NOM-059-ECOL. 1994.** Especies y subespecies de flora y fauna silvestre terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección, Diario Oficial de la Federación, 16 de mayo de 1994, 153 pp.
- Saucedo LPE. 1995.** Crecimiento, relaciones alométricas y reproducción de las ostras perleras *Pinctada mazatlanica* y *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae) bajo condiciones de repoblamiento en el Merito, bahía de La Paz, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR, La Paz, 101 pp.
- Saucedo-Lastra PE & M Monteforte. 1997.** *In situ* growth of pearl oysters *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) and *Pteria sterna* (Gould 1851) under repopulation conditions at bahía de La Paz, Baja California Sur, Mexico. *Aquaculture Research* 28: 367-378.
- Sevilla ML. 1969.** Contribución al conocimiento de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1845). *Revista*

de la Sociedad Mexicana de Historia Natural 30: 223-262.

- Sims NA. 1992.** Abundance and distribution of the black-lip pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, in the Cook Islands, South Pacific. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 43: 1409-1421.
- Solano-López Y, J Cabrera-Peña, RA Cruz & JA Palacios. 1997.** Estructura de la población y crecimiento de *Pinctada mazatlanica* (Pterioida: Pteriidae), Golfo de Nicoya, Costa Rica. Revista de Biología Tropical 45: 1055-1060.
- Sparre P & SC Venema. 1998.** Introduction to tropical fish stock assesment. Part 1: Manual. FAO Fisheries Technical Paper 306(1): 1-495.
- Sutherland JP & H Karlson. 1977.** Development and stability of the fouling community at Beaufort, North Carolina. Ecological Monographs 47: 425-446.
- Tomaru Y, Z Kawataba, K Nakagawa & S Nakano. 1999.** The vertical distribution of pearl oyster *Pinctada fucuta martensii* spat in Uchiumi Bay. Fisheries Science 65: 358-361.
- Wright LH. 1997.** Ecología de la captación de semilla de madreperla *Pinctada mazatlanica* y concha nácar *Pteria sterna* (Bivalvia: Pteriidae), en la isla Gaviota, bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría en Ciencias, CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, 139 pp.
- Wright LH, O Holguín-Quñones, F Arreguín-Sánchez & I Roque-Villada. 2009.** Crecimiento y mortalidad de la madreperla *Pinctada mazatlanica* (Hanley 1856) en poblaciones naturales del litoral oriental de Baja California Sur, México. Revista de Biología Tropical 57(1-2): 53-61.
- Zanini JM & B Salvat. 2000.** Assessment of deep water stocks of pearl oysters at Takapoto Atoll (Tuamotu Archipelago, French Polynesia). Coral Reefs 19: 83-87.
- Zar JH. 1984.** Biostatistical analysis, 718 pp. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Recibido el 21 de mayo de 2008 y aceptado el 23 de marzo de 2009