

ARTÍCULO

Variación espacio-temporal en la densidad y estructura de tallas de *Megastraea undosa* (Gastropoda: Turbinidae) en la costa occidental de Baja California Sur, México

Spatial-temporal variation in the density and size structure of *Megastraea undosa* (Gastropoda: Turbinidae) on the west coast of Baja California Sur, Mexico

Juan Carlos Hernández-Padilla¹, Jessica Adriana Navarro-González², Luis A. Salcido-Guevara³, Rebeca Sánchez-Cárdenas³, José Luis Gutiérrez-González² y Josué Alonso Yee-Duarte^{4,5*}

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida, km. 6 Antigua Carretera a Progreso, Cordemex, CP 97310, Mérida, Yucatán, México

²Programa de Recursos Bentónicos, Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera, Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, km. 1 Carretera Pichilingue s/n Col. Esterito, La Paz, Baja California Sur, 23020, México

³Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México

⁴HistoMar Laboratorio, Asociación de Científicos del Mar, A.C., Calle Oaxaca 425, e/Guillermo Prieto e Ignacio Ramírez, Col. Pueblo Nuevo, La Paz, Baja California Sur, 23060, México

⁵Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera, Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, km. 1 Carretera Pichilingue s/n Col. Esterito, La Paz, Baja California Sur, 23020, México

*Autor correspondiente: casayee1234@gmail.com; josue.yee@inapesca.gob.mx

Abstract. *Megastraea undosa* snail is part of the economically important benthic fisheries of the western coast of Baja California Sur, Mexico. Studies on their density and size structure are important because they are part of the stock assessments that support the fishery management. The objective of this work was to determine the spatial-temporal variations of density and size structure of the *M. undosa* snail in the western coast of Baja California Sur, Mexico. The size structure was determined by sampling site and analyzed based on the legal minimum size and fishing zone. In the spatial analysis, density (ind. m⁻²) and average size were analyzed by depth stratum and fishing area. For the temporal analysis, density and average size were analyzed by depth stratum only for zone 3 in the period 1999 to 2014. The results showed spatial differences in density and average size of the *M. undosa* snail on the west coast of Baja California Sur, with small sizes dominating at the southernmost fishing site. Spatial and temporal variations are discussed as a function of macroalgae availability, as well as sea surface temperature and seasonal upwelling. Knowledge of spatial-temporal behavior of the sizes and densities of *M. undosa* will serve as basis for its future management, based on a biological or bioeconomic approach.

Key words: Spatial-temporal distribution, abundance, fisheries management, small-scale benthic fishery

Resumen. El caracol *Megastraea undosa* forma parte de las pesquerías de recursos bentónicos económicamente importantes de la costa occidental de Baja California Sur, México. Los estudios sobre su densidad y estructura de tallas son importantes debido a que forman parte de las evaluaciones de stock en apoyo al manejo de su pesquería. El objetivo de este trabajo fue determinar las variaciones espacio-temporales de la densidad y estructura de tallas del caracol *M. undosa* en la costa occidental de Baja California Sur, México. Se determinó la estructura de tallas por sitio de muestreo y se analizó con base en la talla mínima legal y por zona de pesca. En el análisis espacial, la densidad (ind. m⁻²) y talla promedio se analizaron por estrato de profundidad y zona de pesca. El análisis temporal, densidad y talla promedio fueron analizadas por estrato de profundidad, únicamente para la zona 3, en el periodo comprendido desde 1999-2014. Los resultados demostraron diferencias espaciales de la densidad y talla promedio del caracol *M. undosa* en la costa occidental de Baja California Sur, y en el sitio de pesca más sureño dominaron las tallas pequeñas. Se discuten las variaciones espacio-temporales de la densidad y estructura de tallas en función de la disponibilidad de macroalgas, así como de la temperatura superficial del mar y las surgencias estacionales. El conocimiento del comportamiento espacio-temporal de la talla y densidad de *M. undosa* servirá de base para su futuro manejo, con base en un enfoque biológico o bioeconómico para el establecimiento de puntos de referencia.

Palabras clave: Distribución espacio-temporal, abundancia, manejo pesquero, pesquería bentónica de pequeña escala

INTRODUCCIÓN

El caracol *Megastrea undosa* (Wood, 1828) es un gasterópodo herbívoro oportunista que habita en zonas rocosas influenciadas por el oleaje y está asociado con lechos de algas (Taniguchi & Rogers-Bennett 2001). Se consideran organismos de crecimiento lento y se ha reportado una longevidad de hasta 12 años (Gluyas-Millán *et al.* 1999). Actualmente, este recurso soporta una pesquería económicamente importante en la costa occidental de Baja California Sur, México. En la década de 1980, se inició formalmente su explotación comercial con una producción de 75,7 ton obtenidas con un esfuerzo relativamente bajo. Lo anterior coincidió con las disminuciones de biomasa de los recursos abulón y langosta en la zona, pesquerías de alto valor comercial (Salas-Garza & Searcy-Bernal 1992, Gluyas-Millán *et al.* 2000). Posteriormente, en 1989, el esfuerzo de pesca se incrementó al incorporarse a la pesquería un mayor número de cooperativas pesqueras, lo cual generó una producción máxima de 353,6 ton de callo fresco con opérculo. Sin embargo, entre el 2000 y 2014 la producción promedio en la costa occidental de Baja California Sur se mantuvo en las 200 ton, con una disminución notable en el 2015 y 2016 (<150 ton) (DOF 2018)¹.

Este recurso es capturado por la flota de pequeña escala que opera en Baja California Sur, México. A nivel global, esta flota se caracteriza por capturar diversos recursos objetivos con múltiples artes de pesca y sitios de captura, así como distintas zonas de desembarque a lo largo de la costa (Panayotou 1982, Charles 1991, Agüero 1992, Salas *et al.* 2007, Hernández-Padilla *et al.* 2020). A pesar de que la pesquería de *M. undosa* en Baja California Sur es considerada una pesquería de pequeña escala, no presenta las características de este tipo de pesquerías, debido a que la captura de los individuos la realizan buzos de forma manual, por lo que no se cuenta con pesca incidental, identificando el esfuerzo y los sitios de desembarque y pesca. Además, es una pesquería con un mayor control y vigilancia, cuyo esquema de operación es similar al empleado en la pesquería de abulón y langosta en la misma zona de extracción de *M. undosa* (Sierra-Rodríguez *et al.* 2006, Vélez-Arellano *et al.* 2020).

El manejo actual del recurso en Baja California Sur se basa en un esquema de concesión por cooperativa pesquera que tiene una vigencia de hasta 20 años, en la cual se considera la captura de otros recursos tales como abulón (*Haliotis fulgens* Philippi, 1845 y *H. corrugata* Wood, 1828), langosta roja [*Panulirus interruptus* (Randall, 1840)],

pepino de mar [*Parastichopus parvimensis* (Clark, 1913)], sargazo rojo [*Gelidium robustum* (Gardner) Hollenberg & Abbott 1965] y pulpo (*Octopus* spp.). Además, se otorgan cuotas de captura anuales con base en el nivel de biomasa de la población. Para proteger el periodo reproductivo de *M. undosa*, se cuenta con una temporada de veda desde el 01 de noviembre al 28 de febrero de cada año y se aplica una talla mínima legal de captura de 90 mm longitud total (DOF 2018)¹. Actualmente, se han otorgado 10 concesiones de pesca que amparan a 129 embarcaciones para la captura de caracol *M. undosa* en Baja California Sur, México (DOF 2018)¹.

En la costa occidental de Baja California Sur, se han realizado diversas investigaciones sobre algunos aspectos biológico-pesqueros en apoyo al manejo de la pesquería de *M. undosa*. En este sentido, Gluyas-Millán *et al.* (1999) describieron las diferencias en talla y edad de *M. undosa* en dos zonas de Bahía Tortugas, Baja California Sur, donde la tasa de crecimiento es distinta entre estas; los autores encontraron que la talla mínima legal en una zona puede alcanzar los 5 años mientras que, en otra, los 9 años. De acuerdo con Gluyas-Millán *et al.* (2000), la talla de *M. undosa* presenta un patrón que varía de acuerdo a la latitud, en el cual los individuos más grandes se localizan hacia el norte en la costa occidental de Baja California Sur. Además, se ha reportado que la mortalidad natural total varía de 0,43 a 0,90 por año, mientras que la mortalidad por pesca varía entre 0,11 y 0,40 por año. Se ha determinado que el periodo entre las marcas operculares de crecimiento de *M. undosa* es anual (Gluyas-Millán *et al.* 2012). Por otra parte, de acuerdo con la información genética disponible de este recurso, se ha reportado que dicha población en la costa occidental de Baja California Sur presenta una baja conectividad a través de la dispersión larval, siendo una distancia de dispersión de 30 m a 3 km (Haupt *et al.* 2013). A pesar de estas investigaciones, la información sobre la dinámica de la densidad y tallas de este caracol es relativamente limitada.

Por tanto, a fin de ampliar la caracterización y aspectos biológico-pesqueros de la pesquería de caracol que se desarrolla en Baja California Sur en apoyo a su manejo, el objetivo de este trabajo fue identificar la variación espacio-temporal de la densidad y estructura de tallas del caracol *M. undosa* en la costa occidental de Baja California Sur, México, constituyendo una base para fortalecer las evaluaciones anuales del recurso dirigidas a estimar su abundancia y emitir la recomendación de cuota anual de captura para fortalecer su manejo.

¹DOF. 2018. Actualización de la Carta Nacional Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México. <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525712&fecha=11/06/2018>

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se ubica a lo largo de la costa occidental de Baja California Sur, México, desde Punta Eugenia hasta Punta Abreojos entre los 27,9°N; 115,2°O y 26,6°N; 113,6°O, y esta se encuentra dividida en 7 zonas (Fig. 1). La zona de distribución del caracol *M. undosa*, se ubica en litoral rocoso, acantilados y playas arenosas. También, es frecuente encontrar distintos tipos de sustratos rocosos tales como piedra tepetate, piedra alta con cuevas y piedra bola, en los cuales habitan estos organismos (Muciño-Díaz *et al.* 2000). La costa occidental de Baja California Sur se encuentra bajo la influencia del sistema de corrientes de California, el cual está constituido por tres corrientes: 1) Corriente de California, la cual contiene una masa superficial de agua fría y de baja salinidad que fluye lentamente de forma paralela a la costa oeste desde Estados Unidos hacia el Ecuador; 2) la Corriente de California que tiene un flujo subsuperficial lento con dirección hacia el norte y 3) la Contracorriente Costera de California (Lavín & Marinone 2003). La zona de estudio se caracteriza por presentar ciclos estacionales de producción primaria donde los vientos favorecen a la generación de surgencias durante todo el año; y con mayor intensidad se presentan entre marzo y mayo. Durante los eventos “El Niño” los vientos alisios disminuyen y la temperatura superficial del mar incrementa. Lo anterior, provoca que las surgencias sean débiles y que la flora desaparezca por algunos meses o incluso por un año. Este fenómeno ocurre con *Macrocystis pyrifera* (Linnaeus) C. Agardh 1820, una de las macroalgas más frecuentes dentro del hábitat del caracol *M. undosa* junto con *Eisenia arborea* Areschoug, 1876, *Gelidium robustum* (N.L.Gardner) Hollenberg & I.A.Abbott 1965, *Gigartina* spp., *Gracilariopsis longissima* (S.G.Gmelin) Steentoft,

L.M.Irvine & Farnham 1995 y pastos marinos del género *Phyllospadix* (Muciño-Díaz *et al.* 2000).

Los datos se recolectaron en 7 zonas de muestreo que corresponden a los sitios concesionados para la pesca del caracol *M. undosa* a lo largo de la costa occidental de Baja California Sur y se obtuvieron mediante las evaluaciones pesqueras anuales realizadas por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INAPESCA), a través del Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera (CRIAP-La Paz, Baja California Sur). El conjunto de datos para el análisis espacial corresponde al periodo 2014. En el análisis temporal, los datos pertenecen a una serie histórica correspondiente al periodo de 1999 a 2014 para la zona 3. Para ambos análisis, la base de datos analizada consistió en registros del número de caracoles y la talla (en mm) de cada individuo por estrato de profundidad por unidad de muestra.

El estudio consistió en un análisis espacio-temporal de la densidad y tallas del caracol *M. undosa*. En el caso del análisis espacial, se aplicó un diseño de muestreo estratificado. La población de caracoles se dividió en subgrupos o estratos independientes y sin sobreposición de un tamaño de 500 x 500 m en línea de costa y de longitud variable hacia el mar, en función de la profundidad. La zona 1 se dividió en 21 estratos, zona 2 en 47 estratos, zona 3 en 53 estratos, zona 4 en 28 estratos, zona 5 en 47 estratos, mientras que la zona 6 y 7 en 35 y 127 estratos, respectivamente. El diseño de muestreo consistió en realizar 10 inmersiones en los estratos sobre la línea de costa, y en cada inmersión el buzo colectó los especímenes de *M. undosa* (de talla pequeña, mediana y grande) en un transecto de 5 m de largo por 2 m de ancho, lo que equivale a una unidad de muestra de 10 m². Las zonas analizadas en este estudio fueron evaluadas una vez por año.

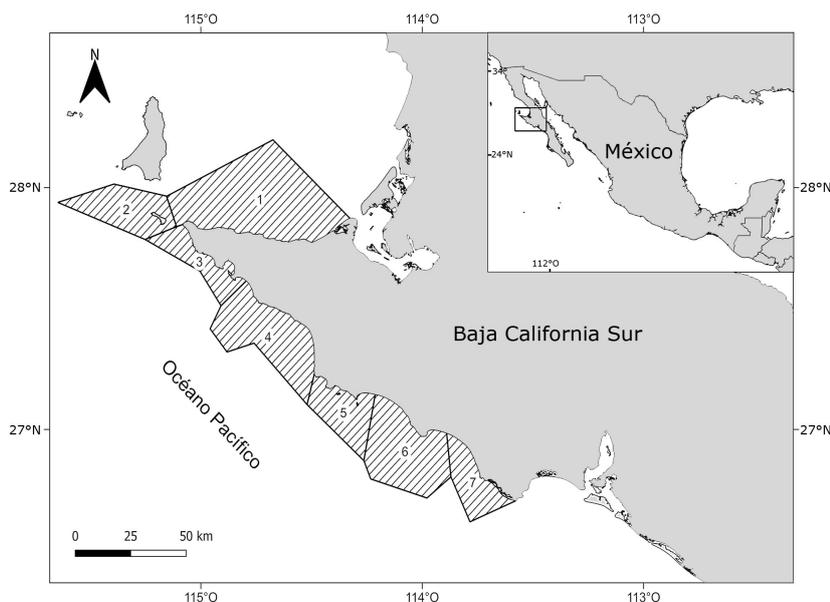


Figura 1. Área de estudio y de captura comercial (Zonas 1-7) de *Megastraea undosa* en la costa occidental de Baja California Sur, México, desde Punta Eugenia (1) hasta Punta Abreojos (7) / Study and commercial capture area (Zone 1-7) of *Megastraea undosa* in the western coast of Baja California Sur, Mexico, from Punta Eugenia (1) to Punta Abreojos (7)

Posteriormente, para cada una de las zonas, se determinó la distribución de frecuencias de la talla de los caracoles en cada sitio de muestreo a un intervalo de 10 mm, y se analizó con base en la talla mínima legal (90 mm de diámetro basal). En cada sitio de muestreo se determinó la densidad con base en el número de individuos por m² (ind. m⁻²). Se analizaron los valores promedio de densidad y talla por estrato de profundidad (entre 1,8 y 27,4 m) por sitio de muestreo. Dado que los datos no provienen de una distribución normal (Shapiro-Wilk), se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis (comparación de 3 o más grupos independientes) para determinar diferencias significativas en densidad promedio por sitio de muestreo y profundidad; mientras que en el caso de la talla promedio se aplicó una prueba de Kolmogorov-Smirnov (muestras independientes pareadas). Asimismo, para conocer la relación entre la talla promedio y la profundidad en cada sitio de muestreo, se estimó el coeficiente de correlación por rangos de Spearman (Zar 2010).

En el análisis temporal se emplearon datos de 3.396 inmersiones realizadas por estratos de profundidad (entre 1,8 y 27,4 m de profundidad) de la zona de muestreo 3, en el periodo comprendido de 1999-2014, y posteriormente se determinó la densidad y talla promedio por estrato de profundidad. Los análisis se realizaron en el programa estadístico de R (R Development Core Team 2020).

RESULTADOS

Durante el periodo 2014, las tallas evaluadas en las 7 zonas oscilaron entre los 7 mm y 180 mm de diámetro basal. La distribución de frecuencias mostró variaciones por zonas (Fig. 2). Se encontraron diferencias significativas tanto en talla (Kolmogorov-Smirnov, $P < 0,05$) como en densidad promedio entre las zonas evaluadas (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 18,9$, $P < 0,05$). También se presentaron diferencias significativas de la densidad promedio por estrato de profundidad (Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 25,9$, $P < 0,05$),

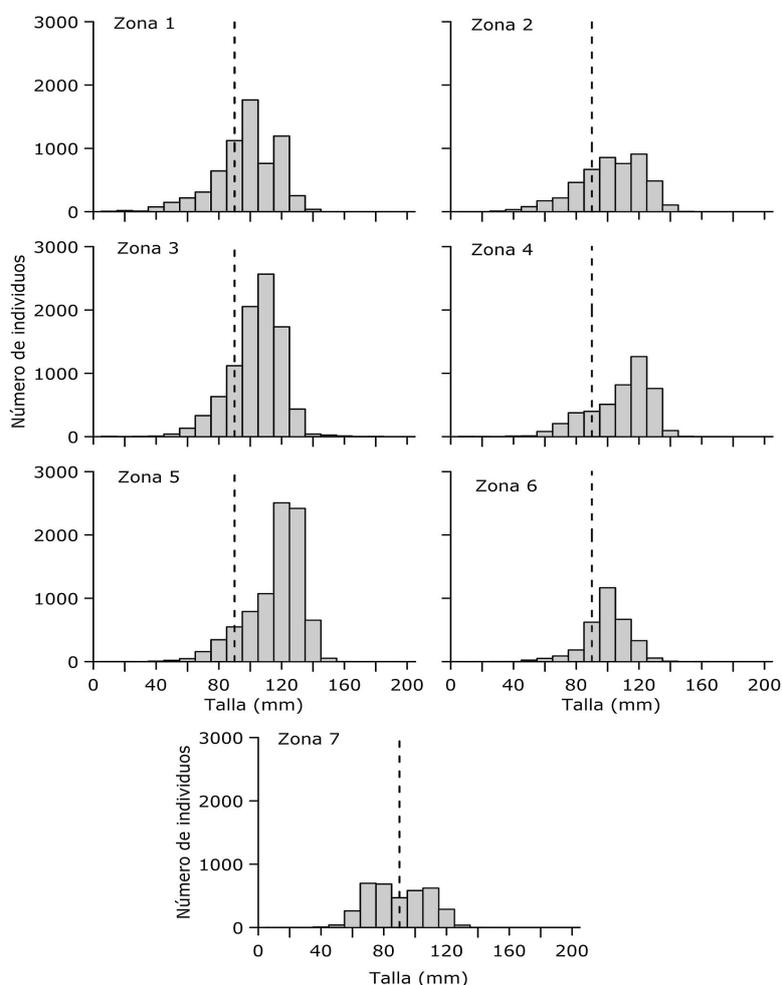


Figura 2. Distribución de tallas de *Megastrea undosa* evaluado en la costa occidental de Baja California Sur, México, por zona de pesca correspondiente al 2014. La línea punteada indica la talla mínima legal de captura (90 mm) / Size distribution of *Megastrea undosa* evaluated in the western coast of Baja California Sur, Mexico by fishing zone corresponding to 2014. The dotted line indicates the minimum legal catch size (90 mm)

mientras que en el caso de la talla promedio por estrato de profundidad no se encontraron diferencias (Kolmogorov-Smirnov, $P > 0,05$). Solo en las zonas 2 y 5 se encontró una relación positiva y significativa entre la talla promedio y la profundidad (Tabla 1).

La talla y la densidad promedio por zona y estrato de profundidad se muestra en la Figura 3. La talla y densidad mínima y máxima por zona, así como los valores de probabilidad de la relación entre la longitud promedio y profundidad se muestran en la Tabla 1. La longitud mínima (7 mm) y máxima (180 mm) se registró en la zona 3.

Tabla 1. Talla, densidad (mínima y máxima) y estadísticos de la relación talla promedio de *Megastrea undosa* y profundidad por zona en la costa occidental de Baja California Sur, México, correspondiente al 2014 / Length, density (minimum and maximum) and statistics of the mean length of *Megastrea undosa* and depth relationship by zone in the western coast of Baja California Sur, Mexico, corresponding to 2014

Zonas de pesca	Talla mínima (mm)	Talla máxima (mm)	Densidad mínima (ind. m ⁻²)	Densidad máxima (ind. m ⁻²)	Valores de correlación
Zona 1	10	150	0,02	2,72	n= 11; r= -0,2; P= 0,8206
Zona 2	16	144	1,18	3,69	n= 13; r= 0,61; P= 0,0013*
Zona 3	7	180	0,45	2,78	n= 12; r= -0,2; P= 0,7855
Zona 4	10	145	0,30	3,55	n= 15; r= -0,62; P= 0,9935
Zona 5	8	160	1,20	3,00	n= 11; r= 0,44; P= 0,0304*
Zona 6	26	160	0,37	2,47	n= 9; r= -0,88; P= 1
Zona 7	20	150	0,50	1,50	n= 9; r= -0,88; P= 0,9937

*Valores estadísticamente significativos

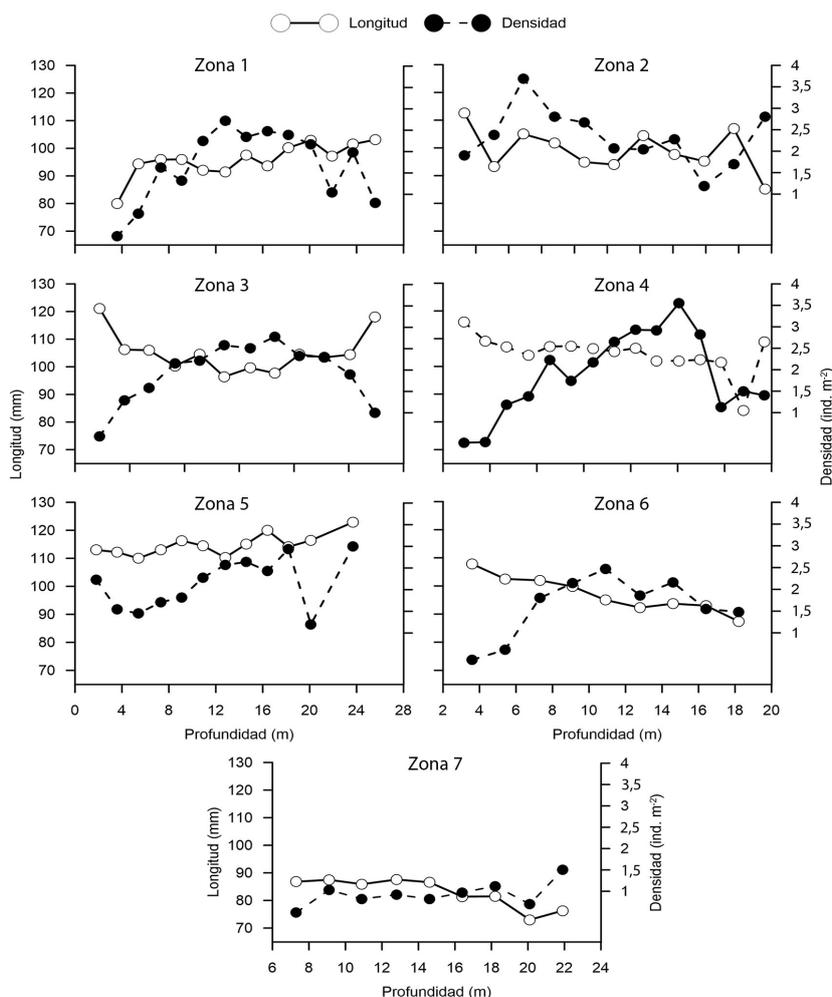


Figura 3. Distribución de la talla y densidad promedio por profundidad en el área de pesca concesionada para la captura del caracol *Megastrea undosa* en Baja California Sur, México, desde la zona 1 hasta la zona 7 correspondiente al 2014 / Size distribution and average density by depth in the fishing concession area for the capture of *Megastrea undosa* in Baja California Sur, Mexico, from zone 1 to zone 7 corresponding to 2014

Las densidades promedio para toda el área de estudio correspondientes al periodo 2014 fueron de 0,02 a 3,69 ind. m⁻² en profundidades de 1,8 y 27,4 m y el intervalo más frecuente fue de 2,2-2,4 ind. m⁻²; las densidades mayores (> 3 ind. m⁻²) fueron poco frecuentes. La densidad máxima (3,69 ind. m⁻²) se registró en la zona 2, mientras que la densidad mínima (0,02 ind. m⁻²) se presentó en la zona 1. Se observó que la densidad promedio se incrementó cuando las profundidades fueron de 3,6 a 14,6 m, y en las profundidades de 14,7 hasta los 27,4 m se presentó una tendencia negativa.

El comportamiento temporal de las tallas y densidad promedio en función de los estratos de profundidad correspondiente al periodo 1999-2014 se muestra en la Figura 4. Particularmente, la talla promedio por estrato

de profundidad durante el periodo 1999-2008 se mantuvo relativamente estable, entre 80-110 mm con un incremento hasta los 125 mm en el 2008, a 1,8 m de profundidad. Durante el periodo 2010-2014 la talla promedio, osciló entre 100 y 120 mm a profundidades entre 1,8 y 23,7 m. Respecto a la densidad promedio, durante el periodo 1999-2014 esta se incrementó entre 1,8 y 10,9 m, y conforme aumentó la profundidad, la densidad promedio tendió a disminuir. Las densidades más altas se presentaron en el 2002 y 2012, con valores de 3,7 y 4,3 ind. m⁻², respectivamente, ambas a 20,1 m de profundidad. Las densidades más bajas se presentaron en el 2008 y 2010, las cuales estuvieron por debajo de 2 ind. m⁻².

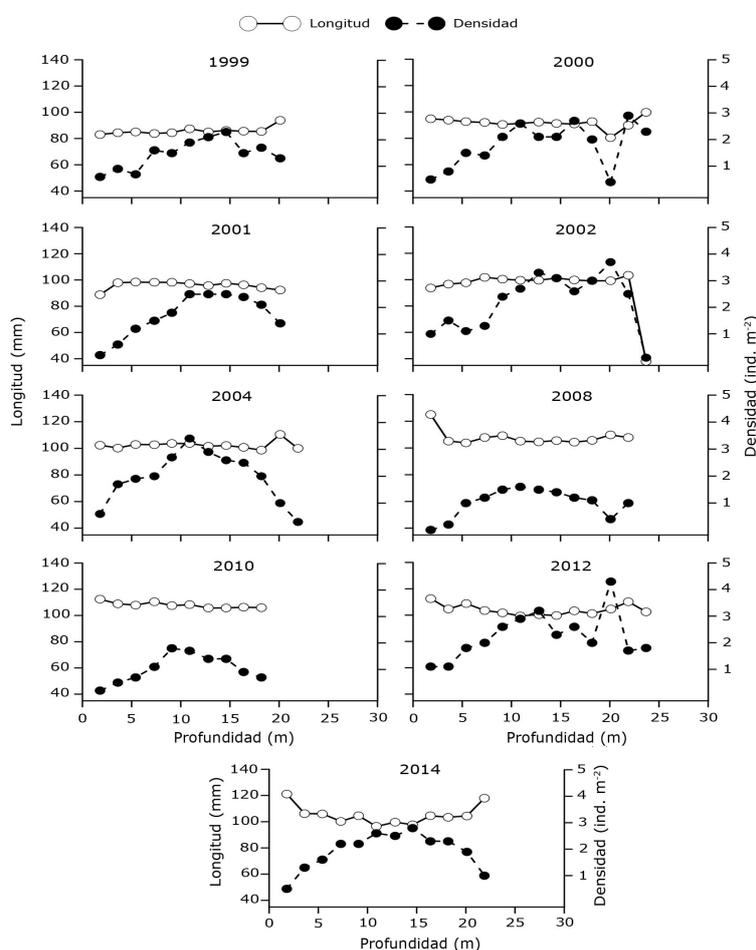


Figura 4. Variación espacio-temporal de la talla y densidad promedio de *Megastraea undosa* en la zona 3, Baja California Sur, México, correspondiente al periodo 1999-2014 / Spatial-temporal variation of the average size and density of *Megastraea undosa* in zone 3, Baja California Sur, Mexico, corresponding to 1999-2014

DISCUSIÓN

La caracterización de una pesquería comprende aspectos biológico-pesqueros relacionados con las variaciones espacio-temporales de abundancia y tallas, esfuerzo, artes y métodos de captura e información socioeconómica de los viajes de pesca de forma temporal y espacial, con énfasis en el manejo de los recursos (Seijo *et al.* 1997, Anderson & Seijo 2010, Hernández-Padilla *et al.* 2020). En este trabajo, se presenta uno de los primeros estudios que evidencia la existencia de una heterogeneidad espacial de densidades y tallas del caracol *M. undosa*. En el 86% del área de estudio, la densidad promedio evaluada para el periodo 2014 se incrementa entre profundidades de 1,8 a 10,9 m, y a partir de los 12,8 hasta los 27,4 m, esta disminuye. Este patrón es similar al reportado para otros organismos bentónicos marinos (*e.g.*, bacterias, meiofauna, macrofauna y megafauna) (Rex *et al.* 2006). Las densidades promedio mayores se presentaron entre los 10,9 y 18,2 m. El análisis temporal demostró que la talla promedio se ha mantenido relativamente estable durante el periodo 1999-2014; además, presentó muy poca variación por estrato de profundidad.

Particularmente, en la zona 3 se han reportado tallas de *M. undosa* entre 49-118 mm, mientras que, en Isla San Jerónimo, Baja California, las tallas oscilan entre los 30-120 mm (Gluyas-Millán *et al.* 1999, Rodríguez-Valencia *et al.* 2002). En este estudio, para todas las zonas evaluadas se reporta una talla entre 7-180 mm y una talla de captura más alta que en el resto de los estudios reportados en la literatura. Los organismos con tallas < 30 mm de diámetro basal son difíciles de encontrar, por lo que no están disponibles a la pesquería, debido a la naturaleza críptica de los mismos durante sus etapas iniciales (Gluyas-Millán *et al.* 2000), comportamiento que ha sido registrado para otros gasterópodos (Schmitt 1981, Keller & Ribi 1993). A pesar de ello, más del 50% de las tallas evaluadas para el periodo 2014 se encuentran por arriba de la talla mínima legal, lo que sugiere que la mayor parte de los organismos reclutados a la pesquería pueden ser capturados en el siguiente año. Si bien, los resultados de este estudio sugieren que se encontraron longitudes de captura más grandes comparadas con lo antes reportado, estas fueron con una frecuencia relativamente baja. La parte más sureña del área de estudio parece estar dominada por organismos de tallas pequeñas. Las diferencias significativas espaciales encontradas en la talla y densidad promedio pueden deberse a las diferencias entre la zona de estudio. Por un lado, la temperatura del mar en la zona 1 es más fría que el resto de las zonas de estudio debido a una mayor influencia de la corriente de California y la presencia de surgencias costeras

intensas de enero a junio (Wyllie 1961, Palacios-Hernández *et al.* 1996). Además, en la zona se presenta la formación de un remolino anticiclónico en el área central, consecuencia de la advección hacia el sur, el efecto de Coriolis sobre la circulación superficial y de la forma alargada de la bahía San Sebastián Vizcaíno (McEwen 1916, Dawson 1952). Por otro lado, desde la zona 2 a la 7, se tiene una mayor influencia de la masa de agua ecuatorial, lo que ocasiona que la temperatura sea más cálida principalmente en verano respecto a la zona 1 (Vélez-Arellano *et al.* 2020). En ese sentido, se considera que la temperatura del sistema es uno de los principales factores ambientales que pudiera modular la distribución latitudinal de *M. undosa* en la costa occidental de Baja California Sur, así como de la diferencia en tallas entre las zonas.

De acuerdo con lo reportado por Cox & Murray (2006), los organismos de mayor tamaño se distribuyen a mayor profundidad, lo cual pudiera reflejar una estrategia de protección contra depredadores. En otros gasterópodos, se ha documentado que los organismos juveniles se encuentran asociados a estratos de profundidad más someros donde tienen mayor disponibilidad de alimento, principalmente de macroalgas (Alcolado 1976). En este trabajo, se observó que existe una mayor densidad de *M. undosa* en estratos relativamente someros (1,8-10,9 m de profundidad), mientras que en estratos profundos (12,8-24,0 m) la agregación de individuos es poco común. En los ecosistemas bentónicos, la mayoría de las especies dependen de la producción y hundimiento de materia orgánica de las aguas superficiales para que actúe como fuente de carbono (Johnson *et al.* 2007). En ese sentido, el flujo de carbono disminuye significativamente con la profundidad, lo que se refleja en un ecosistema limitado de carbono que conduce a una menor riqueza y abundancia de organismos bentónicos. Para la costa occidental de Baja California Sur este fenómeno puede estar incidiendo sobre las densidades de los caracoles (Suess 1980, Rex *et al.* 2006).

Por otro lado, hacia la parte sur del área de estudio (zona 7) se observó que tanto la talla y densidad promedio son más bajas comparadas con el resto de la zona de estudio. Lo anterior se puede deber a una menor cobertura algal, tanto en abundancia, frecuencia y riqueza de especies modulado por un incremento en la temperatura del mar y una disminución de surgencias en la zona, fenómeno que ha sido observado y reportado anteriormente (Trono & Lluisma 1990). Además, las tallas promedio observadas coinciden con el patrón latitudinal reportado por Gluyas-Millán *et al.* (2000) en el área de estudio.

Con base en lo anterior, existe evidencia para sugerir que las mayores densidades de caracol *M. undosa* se ubican en estratos relativamente someros en los que se ha reportado una mayor productividad de macroalgas (Hernández-Carmona *et al.* 1989, Edwards & Hernández-Carmona 2005), asociado con intervalos tolerables de temperatura que permiten su agregación (Salas-Garza *et al.* 2009), siendo las macroalgas la principal fuente de alimento de este caracol, junto con la protección contra la depredación (Cox & Murray 2006).

En pesquerías, para identificar los cambios temporales asociados a la explotación pesquera es importante contar con indicadores sensibles a la extracción (Nash & Graham 2016). Con frecuencia, las tallas y densidades son indicadores que reflejan la presión pesquera (Claudet *et al.* 2006), los cuales son usados de apoyo para la toma de decisiones enfocados en las zonas con tallas y densidades mínimas para su explotación (Hernández-Padilla *et al.* 2018). En este trabajo, el análisis temporal y espacial de las tallas correspondientes a la zona 3 muestra que las tallas promedio por estrato de profundidad han presentado poca variación y que estas se han mantenido relativamente estables en el tiempo. Desde 1999 a 2014 la talla promedio se ha incrementado de 85,8 a 104 mm. Lo anterior, se considera una consecuencia de las medidas de manejo que se aplican en la zona de estudio, tales como la talla mínima legal y la explotación del recurso únicamente a través de buceo tipo “hooka” (DOF 2018), a diferencia de pesquerías sin esquemas de manejo, ordenamiento y uso de múltiples artes de pesca (Welcomme 1999). Por otro lado, el comportamiento espacial de la densidad promedio desde 1999 a 2014 es similar al registrado en el 86% del área de estudio evaluado para el periodo 2014, es decir, se incrementa en profundidades de 1,8 a 10,9 m. Por tanto, se considera que este patrón espacio-temporal de la densidad está particularmente asociado a la zona 3. El análisis temporal de la densidad promedio en la zona, considerando las densidades por estrato de profundidad, demuestra que se ha incrementado relativamente desde 1999 al 2014, de 1,5 a 2,0 ind. m⁻². La mayor densidad promedio se registró en el 2012, con 2,4 ind. m⁻². Hasta el momento, no se han reportado estudios locales o globales que evidencien el comportamiento temporal y espacial de la talla y densidad de caracol *M. undosa* que pueda ser usado para identificar patrones.

En conclusión, el presente trabajo muestra diferencias espacio-temporales de longitud y densidad promedio del caracol *M. undosa* en la costa occidental de Baja California Sur, México. Es probable que las diferencias espaciales estén asociadas a la disponibilidad de alimento. Por otro lado, en estratos relativamente someros se concentra la mayor densidad de organismos, mientras que en estratos profundos los organismos son poco frecuentes. Finalmente, la parte más sureña del área de estudio (zona 7) parece estar dominada por tallas menores.

El conocimiento del comportamiento espacio-temporal de las tallas y densidades de *M. undosa* será fundamento para el futuro manejo pesquero de esta especie, con base en un enfoque biológico o bioeconómico. Además, los resultados obtenidos contribuirán al origen de una línea de investigación para determinar el umbral de densidad que respalde el éxito reproductivo de la población, tal como se ha descrito para otros invertebrados marinos (González-Durán *et al.* 2018).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico otorgado por el Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura a través del Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera (INAPESCA-CRIAP) para la realización de los muestreos en la zona de estudio, así como a las Sociedades Cooperativas de Producción Pesqueras (SCPP) por el apoyo logístico para la recolecta de las muestras. Este trabajo es dedicado a la memoria del Dr. John F. Caddy (1940-2021).

LITERATURA CITADA

- Agüero M. 1992.** La pesca artesanal en América Latina: una visión panorámica. En: Agüero M (ed). Contribuciones para el estudio de la pesca artesanal en América Latina, pp. 1-27. ICLARM Conference Proceedings Contribution, Manila.
- Alcolado PM. 1976.** Crecimiento, variaciones morfológicas de la concha y algunos datos biológicos del cobo *Strombus gigas* L. (Mollusca, Mesogastropoda), 36 pp. Academia de Ciencias de Cuba, Instituto de Oceanología, La Habana.
- Anderson LG & JC Seijo. 2010.** Bioeconomics of fisheries management, 320 pp. Wiley-Blackwell, Ames.
- Charles AT. 1991.** Small-scale fisheries in North America: research perspectives. In: Durand JR, J Lemoalle & J Weber (eds). Research and small-scale fisheries, pp. 157-184. OSTROM, Paris.
- Claudet J, D Pelletier, JY Jouvenel, F Bachet & R Galzin. 2006.** Assessing the effects of marine protected area (MPA) on a reef fish assemblage in a northwestern Mediterranean marine reserve: Identifying community-based indicators. *Biological Conservation* 130: 349-369.
- Cox TE & SN Murray. 2006.** Feeding preferences and the relationships between food choice and assimilation efficiency in the herbivorous marine snail *Lithopoma undosum* (Turbinidae). *Marine Biology* 148: 1295-1306.
- Dawson EY. 1952.** Circulation within Bahía Vizcaino, Baja California, and its effects on marine vegetation. *American Journal of Botany* 39: 425-432.
- Edwards SM & G Hernández-Carmona. 2005.** Delayed recovery of giant kelp near its southern range limit in the North Pacific following El Niño. *Marine Biology* 147: 273-279.
- Gluyas-Millán MG, C Quiñonez-Velázquez, A Massó-Rojas & F Melo-Barrera. 1999.** Diferencias en la relación talla-edad del caracol panocha *Astraea undosa* (Wood 1828) entre dos localidades de Bahía Tortugas, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas* 25: 91-106.

- Gluyas-Millán MG, C Quiñonez-Velázquez & T Talavera-Maya. 2000.** Parámetros poblacionales del caracol *Astraea undosa* (Wood 1828) en la costa occidental de la península de Baja California. *Ciencias Marinas* 26: 643-658.
- Gluyas-Millán MG, MB Cota, DZ Martínez-Quiroz & C Quiñonez-Velázquez. 2012.** Marcas de crecimiento en la superficie y en el interior del opérculo de *Megastraea undosa* y *M. turbanica* de la costa occidental de Baja California Sur, México. *Ciencia Pesquera* 20: 9-16.
- González-Durán E, A Hernández-Flores, JC Seijo, A Cuevas-Jiménez & A Moreno-Enríquez. 2018.** Bioeconomics of the Allee effect in fisheries targeting sedentary resources. *ICES Journal of Marine Science* 75: 1362-1373.
- Haupt AJ, F Micheli & SR Palumbi. 2013.** Dispersal at a snail's pace: historical processes affect contemporary genetic structure in the exploited wavy top snail (*Megastraea undosa*). *Journal of Heredity* 104: 327-340.
- Hernández-Carmona G, YE Rodríguez-Montesinos, JR Torres-Villegas, I Sánchez-Rodríguez & MA Vilchis. 1989.** Evaluation of *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta, Laminariales) kelp beds in Baja California, México. I. Winter 1985-1986. *Ciencias Marinas* 15: 1-27.
- Hernández-Padilla JC, MJ Zetina-Rejón, F Arreguín-Sánchez, JT Nieto-Navarro & A Hernández-López. 2018.** Spatio-temporal distribution of four commercial shrimp species in the southeastern Gulf of California, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research* 46: 727-734.
- Hernández-Padilla JC, N Capetillo-Piñar, N Vélez-Arellano, F Aranceta-Garza, JR Ortiz-Aldana, A Navas-Beteta & IC Herrarte-Müller. 2020.** Variación espacial en la composición y abundancia de las especies capturadas por las pesquerías de pequeña escala en el litoral del Pacífico de Guatemala. *Revista Mesoamericana de Biodiversidad y Cambio Climático-Yu'am* 4: 19-43.
- Johnson NA, JW Campbell, TS Moore, MA Rex, RJ Etter, CR McClain & MD Dowell. 2007.** The relationship between the standing stock of deep-sea macrobenthos and surface production in the western North Atlantic. *Deep-Sea Research Part I* 54: 1350-1360.
- Keller G & G Ribí. 1993.** Fish predation and offspring survival in the prosobranch snail *Viviparus ater*. *Oecologia* 93: 493-500.
- Lavín MF & SG Marinone. 2003.** An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. In: Velasco-Fuentes OU, J Sheinbaum & J Ochoa (eds). *Nonlinear processes in geophysical fluid dynamics*, pp. 173-204. Springer, Dordrecht.
- McEwen GF. 1916.** Summary and interpretation of the hydrographic observations made by the Scripps Institution for Biological Research of the University of California, 1908 to 1915, 356 pp. University of California Press, Berkeley.
- Muciño-Díaz MO, P Sierra-Rodríguez, JA Vélez-Barajas, E Zárate-Becerra, J Talavera-Maya, JR Turrubiates-Morales, F Caballero-Alegría & MA Reinecke-Reyes. 2000.** Abulón. En: Cisneros-Mata MA & AJ Díaz de León (eds). *Sustentabilidad y pesca responsable en México; Evaluación y manejo, 1999-2000*, pp. 119-157. Instituto Nacional de Pesca, Ciudad de México.
- Nash KL & NAJ Graham. 2016.** Ecological indicators for coral reef fisheries management. *Fish and Fisheries* 17: 1029-1054.
- Palacios-Hernández E, EM Argote, BA Amador & PM Mancilla. 1996.** Simulación de la circulación barotrópica inducida por viento en Bahía Sebastián Vizcaíno, B.C. *Atmósfera* 9: 171-188.
- Panayotou T. 1982.** Management concepts for small-scale fisheries: economic and social aspects. *FAO Fisheries Technical Paper* 228: 1-53.
- R Development Core Team. 2020.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<http://www.R-project.org>>
- Rex MA, RJ Etter, JS Morris, J Crouse, CR McClain, NA Johnson, CT Stuart, JW Deming, R Thies & R Avery. 2006.** Global bathymetric patterns of standing stock and body size in the deep-sea benthos. *Marine Ecology Progress Series* 317: 1-8.
- Rodríguez-Valencia JA, F Caballero-Alegría, F Uribe-Osorio & A Arano-Castañón. 2002.** Abundance and associations of two commercially important gastropods (*Astraea* and *Haliotis*) in Isla San Jerónimo, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas* 28: 49-66.
- Salas S, R Chuenpagdee, JC Seijo & A Charles. 2007.** Challenges in the assessment and management of small-scale fisheries in Latin America and the Caribbean. *Fisheries Research* 87: 5-16.
- Salas-Garza A & R Searcy-Bernal. 1992.** Desarrollo y estado actual del cultivo de abulón en México. In: Shepherd MJ, M Stegner & SA Guzmán del Prío (eds). *Abalone of the world: Biology, fisheries and culture*, pp. 538-546. Fishing News Books, Oxford.
- Salas-Garza A, G Parés-Sierra, R Gómez-Rigalt & E Carpizo-Ituarte. 2009.** The larval development, metamorphosis and juvenile growth of the turban snail *Lithopoma (Astraea) undosa* (Wood, 1828) (Gastropoda: Turbinidae). *Journal of the World Aquaculture Society* 40: 460-471.
- Schmitt RJ. 1981.** Contrasting anti-predator defenses of sympatric marine gastropod (Family Trochidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 54: 251-263.
- Seijo J, O Defeo & S Salas. 1997.** Bioeconomía pesquera. Teoría, modelación y manejo. *FAO Documento Técnico de Pesca* 368: 1-176.
- Sierra-Rodríguez P, M Muciño-Díaz, JL Gutiérrez-González & JR Turrubiates-Morales. 2006.** La pesquería de abulón. En: Cuellar J & CO Cadena (coord). *Sustentabilidad y pesca responsable en México: Evaluación y manejo*, pp. 1-38. Instituto Nacional de Pesca, Ciudad de México.
- Suess E. 1980.** Particulate organic carbon flux in the ocean's surface productivity and oxygen utilization. *Nature* 288: 260-263.
- Taniguchi IK & L Rogers-Bennett. 2001.** Wavy turban snail. In: Leet WS, CM Dewess & RE Larson (eds). *California's living marine resources: A status report*, pp. 140-141. University of California, Los Angeles.
- Trono GC & AO Luisma. 1990.** Seasonality of standing crop of a *Sargassum* (Fucales, Phaeophyta) bed in Bolinao, Pangasinan, Philippines. *Hydrobiologia* 204: 331-338.

Vélez-Arellano N, F Valenzuela-Quiñonez, FA García-Domínguez, DB Lluch-Cota, JL Gutiérrez-González & RO Martínez-Rincón. 2020. Long-term analysis on the spawning activity of green (*Haliotis fulgens*) and pink (*Haliotis corrugata*) abalone along the central west coast of Baja California. Fisheries Research 228: 105588. <<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105588>>

Welcomme RL. 1999. A review of a model for qualitative evaluation of exploitation levels in multi-species fisheries. Fisheries Management and Ecology 6: 1-19.

Wyllie JG. 1961. The water masses of Sebastian Vizcaino Bay. CalCOFI Report 8: 83-93.

Zar JH. 2010. Biostatistical analysis, 944 pp. Prentice Hall, Upper Saddle River.

Recibido el 6 de enero 2021 y aceptado el 14 de septiembre de 2021