

Evaluación de langosta (*Panulirus argus*), caracol rosado (*Lobatus gigas*) y pepino de mar (*Holothuria mexicana*), y riqueza específica de la comunidad de peces en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, Yucatán

Gloria Verónica Ríos-Lara^{*✉}, Carlos Enrique Zetina-Moguel^{**}, Juan Carlos Espinoza-Méndez^{*}, Eгна Deneb Cervera-Paul^{*}, Kenneth Cervera-Cervera^{*}, Mariana Uribe-Cuevas^{*} y David Emmanuel De Anda-Fuentes^{*}

La pesquería de langosta (*Panulirus argus*) en la costa de Yucatán y en el Parque Nacional Arrecife Alacranes (PNAA) se realiza por medio del buceo. Durante las operaciones de pesca también se capturan peces y eventualmente caracol rosado (*Lobatus gigas*) y pepino de mar (*Isostichopus badionotus*). Con el objetivo de evaluar la población de langosta *P. argus* al final de la temporada de veda 2015 en el PNAA, se realizó una prospección mediante la observación directa por buceo en 40 estaciones distribuidas en tres clases de fondo en donde se captura langosta: 1) parches de coral duro con angostos pasillos de arena entre ellos (1-3 m de profundidad), 2) parches de coral duro con abundancia de coral blando (3-8 m) y 3) parches de coral duro con paredes de 8 a 15 m. En cada estación se hizo un transecto, contándose las langostas observadas y otros recursos bentónicos (caracol *L. gigas* y pepino de mar *Holothuria mexicana*), así como peces. A partir de longitudes y pesos observados, se estimó la biomasa de langosta y la densidad y la abundancia de las tres especies bentónicas para el área que ocupan los tres tipos de fondo en el arrecife. La riqueza específica de peces se calculó mediante una curva de acumulación área-especie con métodos de remuestreo. La biomasa de langosta fue de 92 t. Las densidades estimadas por clase de fondo fueron de 53.0 ± 23.0 , 34.0 ± 20.5 y 4.0 ± 5.5 organismos/ha para langosta, de 20.0, 9.0 y 7.0 organismos/ha para caracol y 14.0, 3.0 y 8.0 organismos/ha para pepino de mar. Las abundancias fueron de 200 969 organismos para langosta, 67 864 organismos para caracol y de 39 699 organismos para pepino de mar. Las distribuciones de densidad de las tres especies en el área de estudio fueron diferentes. La riqueza máxima de peces fue de 57 especies.

Palabras clave: pesquerías, ecosistema, arrecife, recursos bentónicos, Banco de Campeche

Stock assessment of lobster (*Panulirus argus*), queen conch (*Lobatus gigas*), and sea cucumber (*Holothuria mexicana*), and specific richness of the fish community in the Arrecife Alacranes National Park, Yucatan

Lobster (*Panulirus argus*) fishery in Yucatan coast and Arrecife Alacranes National Park (PNAA) is carried out diving. During the fishing operations fish species are also caught and eventually queen conch (*Lobatus gigas*) and sea cucumber (*Isostichopus badionotus*). With the aim of assessing the spiny lobster *P. argus* stock at the end of the close season of 2015 in the PNAA, a survey was made through direct diving observations in 40 stations distributed in three types of bottom: 1) hard coral patches with narrow sand corridors between them (1-3 m depth), 2) hard coral with abundance of soft coral (3-8 m) and 3) hard coral patches with walls of 8 to 15 m. At each station a transect was made, counting observed lobsters and other benthic resources (queen conch *L. gigas* and *Holothuria mexicana* sea cucumber), as well as fish. From observed length and weight, lobster biomass was estimated and the density and abundance of the three benthic species at each of the three types of bottom. The specific richness of fish was calculated through the area-species accumulation curve using resampling methods. The lobster biomass was of 92 t. The estimated densities by bottom type were 53.0 ± 23.0 , 34.0 ± 20.5 and 4.0 ± 5.5 organisms/ha of lobsters, 20.0, 9.0 and 7.0 organisms/ha of queen conch, and 14.0, 3.0 and 8.0 organisms/ha of sea cucumber, respectively. Abundance results were 200 969 organisms of lobsters, 67 864 organisms of queen conch and 39 699 of sea cucumber. The density distributions of the three species in the study area were different. The maximum richness of fishes was 57 species.

Key words: fisheries, ecosystem, reef, benthic resources, Campeche Bank.

* Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera-Yucalpetén, Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. Av. del Pescador s/n. Antigua carretera a Chelem. Puerto de Abrigo Yucalpetén. Progreso, Yucatán. CP 97320. México. ✉ Responsable de la correspondencia: g_veronicar@yahoo.com

** Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Av. de Industrias no contaminantes con Anillo Periférico norte s/N. Mérida, Yucatán, México.

Introducción

El Parque Nacional Arrecife Alacranes (PNA) constituye la mayor formación coralina del Golfo de México. Tiene gran importancia ecológica y económica, dada la diversidad de especies que ahí habitan y por ser una zona de pesca para recursos como la langosta *Panulirus argus* (Latreille 1804), especies de escama como el negrilla *Mycteroperca bonaci* (Poey 1860), la cabrilla *Epinephelus adscensionis* (Osbeck 1765), el mero rojo *Epinephelus morio* (Valenciennes 1828) y pargos *Lutjanus* spp., así como en algún tiempo el caracol rosado o reina *Lobatus gigas* (Linnaeus 1758), tradicionalmente aprovechados por un número restringido de pescadores.

En Alacranes se captura alrededor de 20% de la producción de langosta *P. argus* del estado de Yucatán (entre 35 y 50 t de cola de langosta/temporada) y su pesquería hoy en día se considera estable (DOF 2012, Ríos-Lara *et al.* 2012). En el caso del caracol *L. gigas*, en la costa de Yucatán sólo se encuentra en el PNA y, aunque existió una pesquería entre los años 1950 y 1990, a partir de 1994 entró en veda permanente; sin embargo, se sabe que hay pesca furtiva (Aldana-Arana y Baqueiro-Cárdenas 2010). Por otra parte, es sabido que las poblaciones de pepino de mar han sido fuertemente explotadas debido a su gran valor comercial y a su alta demanda de consumo en países asiáticos, *Holothuria mexicana* Ludwig 1875 es una especie que se encuentra en todo el Caribe, incluido el PNA y el Caribe mexicano y, aunque en México no se captura, hay interés en explorar su comercialización.

Para la buena administración de los recursos pesqueros es necesario tener conocimiento acerca de la distribución y el tamaño de las poblaciones que están siendo aprovechadas y su capacidad para recuperarse entre temporadas de pesca, como es el caso de la langosta *P. argus*, que cuenta con una veda temporal, o después de periodos largos de descanso de la actividad pesquera, como sucede con el caracol *L. gigas*, o bien, cuando no han estado sujetas a aprovechamiento pesquero, como *H. mexicana*, contar con un indicador del tamaño de la población inicial. Así, los estudios acerca de la distribución, la densidad y la abundancia de especies en áreas

como el PNA pueden ser de gran utilidad para el manejo sustentable.

La riqueza específica de las comunidades bióticas es una importante primera aproximación a la explicación de la estructura de las comunidades como resultado de las interacciones entre las especies; no describe las interacciones, pero en gran medida es el resultado de ellas (Cornell y Lawton 1992). Por otra parte, la riqueza específica refleja las condiciones de perturbación antropogénica y, en el caso de una pesca selectiva como la que se hace por buceo, permite inferir acerca de las condiciones de los ambientes sujetos a aprovechamiento pesquero.

En la costa de la península de Yucatán se han hecho estudios sobre el hábitat, la distribución, la densidad, la abundancia y la biomasa de los recursos langosta *P. argus* (Ríos-Lara *et al.* 2003, 2007, 2012, Bello-Pineda *et al.* 2005, Ley-Cooper 2006, Ríos-Lara 2009), caracol rosado *L. gigas* (De la Torre 1984, Quijano 1988, Chávez 1990, Basurto *et al.* 1996¹, 2011², Ríos-Lara *et al.* 1998, Pérez-Pérez y Aldana-Aranda 2000) y pepinos de mar de las especies *Isostichopus badionotus* (Selenka 1867), *Holothuria floridana* Pourtalés 1851 y *Astichopus multifidus* (Sluiter 1910) (Zetina-Moguel *et al.* 2002, 2003, Tagliafico *et al.* 2011, Hernández-Flores *et al.* 2015, López-Navarro *et al.* 2015³). En el caso de la especie *H. mexicana* no hay estudios anteriores en la región; sin embargo, se sabe que se encuentra en zonas arrecifales a lo largo de todo el Caribe hasta el sureste de Brasil, en fondos arenosos o lechos de pastos,

1. Basurto M, O Cruz, M Pérez, K Cervera, P Cadena. 1996. Prospección y evaluación de caracol rosado (*Strombus gigas*), en zonas profundas de Banco Chinchorro, Quintana Roo utilizando el vehículo de video submarino autopropulsable Phantom. Informe Técnico (documento interno). Centro Regional de Investigación Pesquera-Puerto Morelos. Instituto Nacional de Pesca. México. 18p.
2. Basurto M, Cervera K, Medina M. 2011. Evaluación de la abundancia de *Strombus gigas* en Banco Chinchorro y cálculo de la cuota de pesca para la temporada 2011-2012. Dictamen Técnico (documento interno). Centro Regional de Investigación Pesquera-Puerto Morelos. Instituto Nacional de Pesca.
3. López-Navarro J, A Rodríguez, J Roa-Méndez, N Bolaño-Arévalo, M Rueda-Hernández, J Gómez-León. 2015. Distribución espacial y abundancia de *Isostichopus badionotus* y *Holothuria mexicana*, pepinos de mar de importancia económica en el Departamento de la Guajira (Caribe colombiano). XVI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar-COLACMAR y XVI Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Santa Martha, Colombia. 18 al 22 de octubre 2015.

en profundidades de 2 a 20 m. En Panamá, Nicaragua, Venezuela y Colombia se ha capturado *H. mexicana* cuando han disminuido las poblaciones de *I. badionotus* (Torral-Granda 2008, López-Navarro *et al.* 2015³). Para esta especie, en la región del Caribe panameño, se ha propuesto un ciclo reproductivo anual, con un pico durante los meses de mayo a julio, y una proporción de sexos de 1:1 (Guzmán *et al.* 2003). Alcanza una longitud de hasta 50 cm.

Con relación a las especies de peces, en el Programa de Conservación y Manejo del PNAA se mencionan 236 especies; sin embargo, la lista más completa hasta ahora para el área es la de González-Gándara y Arias-González (2001) con 279 especies.

El objetivo de este trabajo fue estimar la densidad, la abundancia y la biomasa de langosta *P. argus* en el PNAA al final del periodo de veda, obtener estimaciones de densidad y abundancia de otros recursos bentónicos de importancia pesquera, como el caracol rosado *L. gigas* y el pepino de mar *H. mexicana*, además de estudiar la biodiversidad de las áreas de pesca de langosta a través de la riqueza específica de peces, todo ello en tres tipos de hábitat.

Materiales y métodos

El arrecife Alacranes está a unos 130 km al norte de Puerto Progreso, Yucatán, entre 22° 21' 45" y 22° 34' 55" N y 89° 36' 47" y 89° 47' 53" O (Fig. 1).

La prospección de muestreo se realizó del 4 al 10 de junio de 2015 y en ella participaron cinco biólogos y técnicos con amplia experiencia en el monitoreo y la evaluación de recursos marinos. La colecta de datos se hizo por medio del buceo en cuadrantes de diferente tamaño, en sitios con mayor disponibilidad de hábitat preferido por la langosta (Ríos-Lara *et al.* 1998, 2003, 2007, Bello-Pineda *et al.* 2005), ubicados principalmente en la zona central del arrecife Alacranes, entre los dos y 15 m de profundidad y de los cuales se extrae gran parte de la captura de langosta al principio de temporada.

Se establecieron 40 estaciones dentro de tres clases de fondo: parches de coral duro con arenas aledaños (1-3 m de profundidad), parches de coral duro y abundancia de coral blando (3-8 m de

profundidad) y parches de coral duro con paredes (8-15 m de profundidad), una estratificación propuesta por Bello-Pineda *et al.* (2005). Cada estación se ubicó geográficamente con un geoposicionador satelital Garmin GPSMAP 78s (Fig. 1).

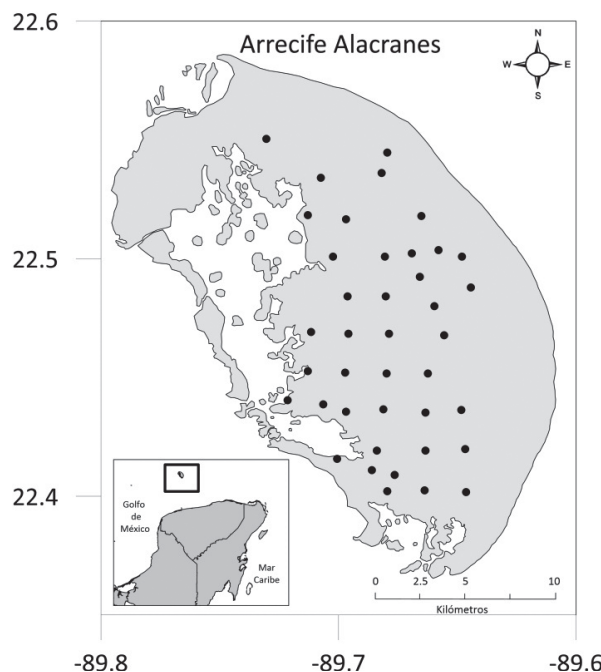


Fig. 1. Red de estaciones de muestreo en el Parque Nacional Arrecife Alacranes.

En cada estación se hizo un transecto y se contabilizó el número de langostas, caracoles y pepinos de mar, además de las especies de peces observadas; los transectos fueron de diferente tamaño (entre 175 y 368 m de largo con un media de 250 ± 52 m), determinado por el recorrido realizado en 20 minutos de buceo, el que dependió principalmente de la complejidad del paisaje en cada estación. Para identificar los elementos dominantes del paisaje (corales, esponjas, arena, algas y pastos) se tomaron fotografías del fondo.

Se estimó la densidad para cada especie, para cada clase de fondo y para el área total, con un estimador basado en muestreo en transectos de diferente tamaño (Seber 1982, Krebs 1989, Thompson 1992).

$$\bar{D} = \frac{\sum y_i}{\sum w_i l_i p_i} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde: w_i = ancho de la i -ésima área muestreada, l_i = largo de la i -ésima área muestreada,

p_i = probabilidad de encuentro del organismo en la i -ésima área muestreada.

El ancho de la i -ésima área muestreada reportado por los buzos (w_i) contempla el error de apreciación (E_a) con distribución normal (con media w_0 y un coeficiente de variación de 20%):

$$w_i = w_0 + E_a \quad \text{Ec. 2}$$

El largo de la i -ésima área muestreada (l_i) se calculó tomando en cuenta la posición geográfica inicial y la final del transecto obtenidas por medio del GPS.

De acuerdo con la experiencia y la destreza de los buzos participantes en la localización de los organismos, se asumió una detección o una probabilidad de encuentro de 80 y 90% para langosta, y de 90 y 99% para caracol y pepino de mar, respectivamente.

Para obtener las estimaciones de densidad, incorporando incertidumbre en el factor ancho de los transectos y en la probabilidad de detectar organismos, se usó la simulación Montecarlo.

La varianza de la densidad media se obtuvo a través de la ecuación 3:

$$\hat{V}(\hat{D}1) = \frac{\sum y_i}{\sum (w_i l_i p_i)^2} \left(\frac{1-p}{p^2} \right) \quad \text{Ec. 3}$$

El número total de organismos en cada clase de fondo se estimó con base en la siguiente ecuación.

$$\hat{Y} = \hat{D}1 \cdot A \quad \text{Ec. 4}$$

Donde: \hat{Y} = número total de organismos en el área de interés, $\hat{D}1$ = densidad media de los organismos en el área de interés, A = área de interés.

El área de interés en todos los casos se refiere al área que ocupa el hábitat preferencial para langosta en cada clase de fondo donde se hizo el muestreo, según las estimaciones de Ríos-Lara *et al.* (2007).

La varianza de la abundancia en el área resulta de la ecuación 5:

$$\hat{V}(\hat{Y}) = \frac{A \cdot (\sum w_i l_i p_i - 1)}{\sum w_i l_i p_i \cdot [(\sum w_i l_i p_i) - 1]} (\sum y_i^2 + \hat{D}1^2) \quad \text{Ec. 5}$$

En el caso de la langosta, se estimó la biomasa para cada clase de fondo y total, con la Ec. 6:

$$B = \hat{Y} \cdot P_m \quad \text{Ec. 6}$$

El peso medio (P_m) utilizado para calcular la biomasa fue de 460 g (153 g cola), calculado a partir de los datos de ejemplares capturados durante la campaña de muestreo.

Se utilizaron los datos del número de organismos observados en cada transecto y se corrieron 10 000 simulaciones para calcular las densidades y sus varianzas, obteniéndose valores promedio. Los estimadores se obtuvieron en Visual-Basic instrumentado en EXCEL v.5. Se construyeron mapas de densidad de langosta, caracol y pepino de mar.

Para estimar la riqueza específica (S) máxima se usó el modelo de Clench (1979), que se ha usado para la predicción de riqueza específica en estudios faunísticos (Soberón y Llorente 1993) y de peces en ecosistemas arrecifales (Zetina-Ríos *et al.* 2012) (Ec. 7).

$$S_{\max} = \frac{a}{b} S_E = \frac{a \cdot E}{1 + (b \cdot E)} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde: S_E = riqueza específica al esfuerzo E , a y b = constantes a estimar, E = esfuerzo de muestreo (transectos recorridos), S_{\max} = máximo teórico o asintótico de especies en el ecosistema, sin considerar las que no son observables ni las especies de presencia accidental.

La estimación de las constantes a y b se hizo utilizando regresión no lineal (Marquart) con el *Statgraphics v.5*, con base en 600 arreglos aleatorios de la ubicación temporal de los muestreos, realizados con un programa elaborado en Visual Basic para EXCEL; es decir, se usaron 600 curvas hipotéticas basadas en un nuevo muestreo de las observaciones originales.

Resultados

Por medio de la observación y la fotografía se identificaron elementos del paisaje presentes, modificándose tres de las clases de fondo definidas por Bello-Pineda *et al.* (2005), en las que se realizaron los transectos (Tabla 1).

Estimación de densidad, abundancia y biomasa de langosta

La mayor parte de las langostas observadas en la zona central del PNAA fue de juveniles de entre 10 y 18 cm de longitud abdominal (La), con una media de 14.8 cm; 6.5 y 13 cm de longitud de cefalotórax (Lc) con una media de 10.7 cm; 16 y 28 cm de longitud total (Lt) con una media de 24 cm (Fig. 2). El peso medio observado para

Tabla 1
Clases de fondo visitadas durante la prospección en el PNAA (modificada de Bello-Pineda *et al.* 2005)

Clase	Habitat dominante	Profundidad (m)	Cubierta dominante promedio (%)	Área (km ²)	Hábitat preferencial langosta (km ²)
1	Parches de coral duro con arenales intersticiales	1-3	Asociaciones coralinas (45) Corales duros (hexacorales) corales rocosos: (Corales ramificados): <i>Acropora</i> , <i>Tubastrea</i> spp., <i>Porites</i> spp. (Corales masivos): <i>Montastrea cavernosa</i> , <i>Orbicella annularis</i> , <i>Siderastrea</i> spp., <i>Solenastrea</i> spp. y <i>Porites</i> spp. (Corales cerebro): <i>Diploria</i> spp. y <i>Meandrina</i> spp. Corales de fuego (hydrocorales): <i>Millepora</i> spp. Corales blandos: (octocorales): <i>Gorgonia</i> spp., <i>Eunicea</i> spp., <i>Plexaura</i> spp., <i>Pseudoplexaura</i> spp., <i>Plexaurella</i> sp., <i>Muricia</i> spp., <i>Pterogorgia</i> spp., <i>Pseudotergorgia</i> spp. Algas: Chlorophyta (<i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Halimeda monile</i> , <i>Penicillus pyriformis</i> , Phaeophita (<i>Sargassum</i> spp., <i>Turbinaria</i> spp.) y Rhodophyta (<i>Laurencia</i> spp.) Pastos: <i>Thalassia testudinum</i> .	89.80	22.51
2	Parches de coral duro	3-8	Asociación coralina (40) Corales duros (hexacorales) corales rocosos: (corales ramificados): <i>Acropora</i> , <i>Tubastrea</i> spp., <i>Porites</i> spp. (corales masivos): <i>Montastrea cavernosa</i> , <i>O. annularis</i> , <i>Siderastrea</i> spp., <i>Solenastrea</i> spp. y <i>Porites</i> spp. (corales cerebro): <i>Diploria</i> spp. y <i>Meandrina</i> spp. Corales de fuego (hydrocorales): <i>Millepora</i> sp. Corales blandos (octocorales): <i>Gorgonia</i> spp., <i>Eunicea</i> spp., <i>Plexaura</i> spp., <i>Pseudoplexaura</i> spp., <i>Plexaurella</i> spp., <i>Muricia</i> spp., <i>Pterogorgia</i> spp., <i>Pseudotergorgia</i> spp. Algas: chlorophytas (<i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Halimeda monile</i> , <i>Penicillus pyriformis</i> , phaeophitas (<i>Sargassum</i> spp., <i>Turbinaria</i> spp.) y rhodophytas (<i>Laurencia</i> spp.) Pastos: <i>Thalassia</i> spp.	94.60	23.63
3	Parche de coral duro con paredes de 8 a 15 m	8-15	Asociación coralina (45) Coral duro (hexacorales) corales rocosos: (corales ramificados) gen: <i>Acropora</i> , <i>Tubastrea</i> , <i>Porites</i> . (corales masivos) gen: <i>M. cavernosa</i> , <i>M. annularis</i> , <i>Siderastre</i> y <i>Solenastrea</i> . (corales cerebro): <i>Diploria</i> y <i>Meandrina</i> . Corales blandos: (octocorales): gen: <i>Gorgonia</i> , <i>Eunicea</i> , <i>Plexaura</i> , <i>Pseudoplexaura</i> , <i>Plexaurella</i> , <i>Muricia</i> , <i>Pterogorgia</i> , <i>Pseudotergorgia</i> . Algas: feofitas y rodofitas (<i>Laurencia</i> spp.) Esponjas tubulares	03.10	0.78

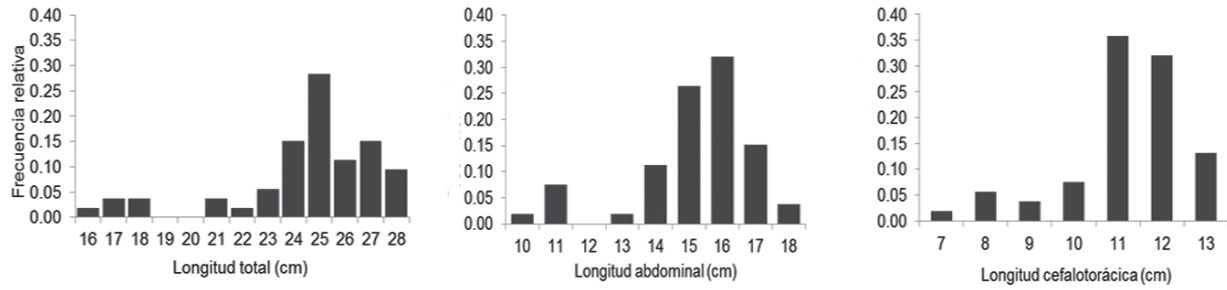


Fig. 2. Composición de tallas de langostas observadas en el área central del Parque Nacional Arrecife Alacranes.

langosta entera fue de 460 g y fue utilizado para estimar la biomasa.

Las estimaciones de densidad, abundancia y biomasa de langosta en las diferentes clases de fondo se resumen en la *tabla 2* y la *figura 3*. La abundancia total estimada fue de 200 969 organismos y la biomasa de 92 t de langosta viva (31 t de cola, aproximadamente).

Tabla 2
Estimación de densidad, abundancia y biomasa de *Panulirus argus* en el PNA: AL = abundancia de langosta, DL = densidad de langosta (núm. de organismos/ha), BL = biomasa de langosta (t)

Clase	Parámetro	Estimación	Límite inferior	Límite superior	Valor mínimo	Valor máximo
1	AL	119 531			106 383	132 679
	DL	53	30	76	6	183
	BL	55			49	61
2	AL	81 156			73 040	89 272
	DL	34	14	55	0	152
	BL	37			33	41
3	AL	281			244	318
	DL	4	0	11	0	11
	BL	0.13			0.11	0.15
Total	AL	200 969				
	BL	92				

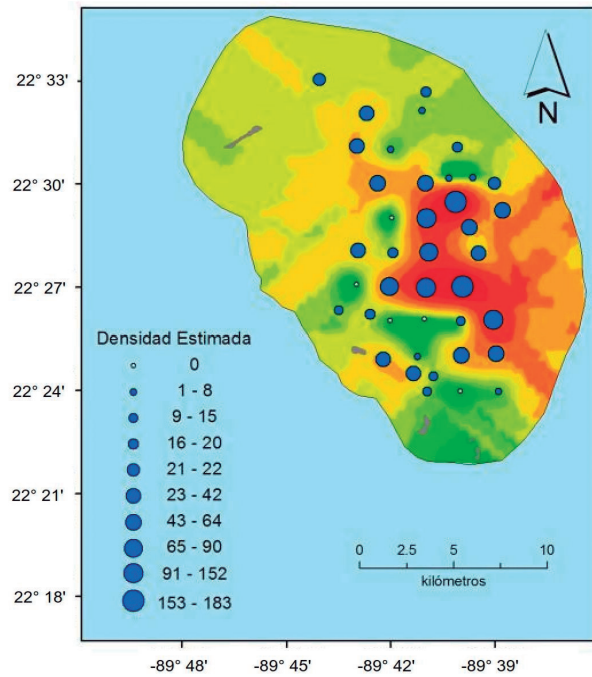


Fig. 3. Densidad y distribución de langosta *Panulirus argus* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes.

Las estimaciones de densidad y abundancia de caracol en las diferentes clases de fondo se resumen en la *tabla 3* y la *figura 4*. La abundancia total estimada fue de 67 864 organismos adultos.

Tabla 3

Estimación de densidad y abundancia de caracol *Lobatus gigas* en el PNAA: AC = abundancia de caracol y DC = densidad de caracol (núm. de organismos/ha)

Clase	Parámetro	Estimación	Límite inferior	Límite superior	Valor mínimo	Valor máximo
1	AC	45 487			40 938	50 036
	DC	20	6	35	0	62
2	AC	21 814			19 196	24 432
	DC	9	3	15	0	29
3	AC	563			490	636
	DC	7	0	21	0	38
Total	AC	67 864				

Tabla 4

Estimación de densidad y abundancia de pepino de mar *Holothuria mexicana* en el PNAA. AP = abundancia de pepino y DP = densidad de pepino (núm. de organismos/ha)

Clase	Parámetro	Estimación	Límite inferior	Límite superior	Valor mínimo	Valor máximo
1	AP	31 114			28 003	34 225
	DP	14	6	22	2	26
2	AP	8 159			7 262	9 056
	DP	3	1	6	0	8
3	AP	427			367	487
	DP	5	2	9	0	11
Total	AP	39 699				

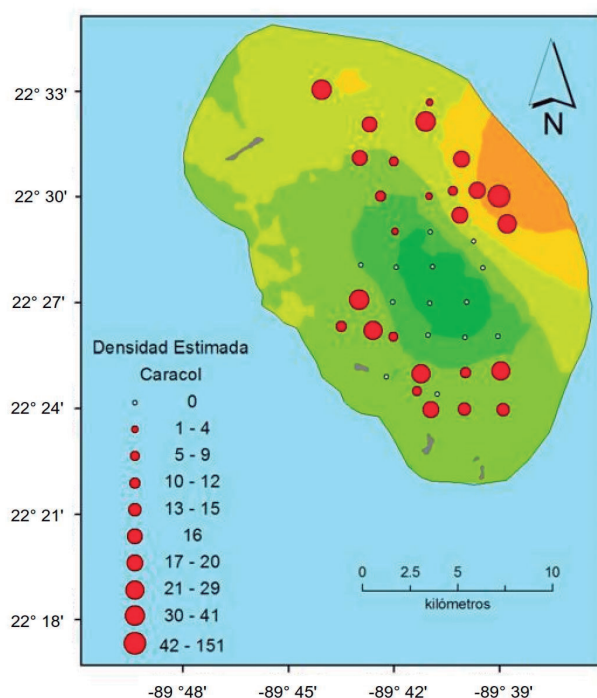


Fig. 4. Densidad y distribución de caracol rosado *Lobatus gigas* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes.

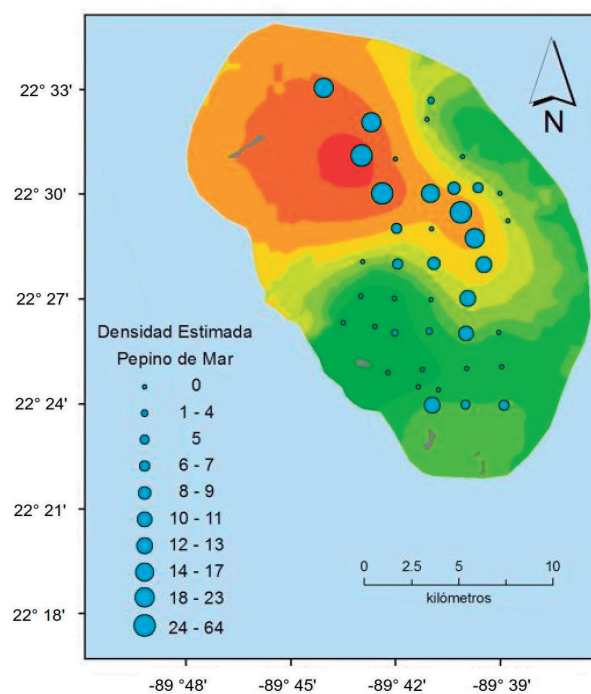


Fig. 5. Densidad y distribución de pepino de mar *Holothuria mexicana* en el Parque Nacional Arrecife Alacranes.

Las estimaciones de densidad y abundancia del pepino de mar *H. mexicana* en las diferentes clases de fondo se resumen en la *tabla 4* y la *figura 5*. La abundancia total estimada fue de 39 699 organismos.

Las especies de peces observadas en los hábitats asociados a la captura de langosta fueron 53 (*Tabla 5*). El número mínimo de especies observadas en una estación fue de seis y el máximo de 30; la clasificación de los sitios de observación, de acuerdo con el número de especies de peces observadas se hizo en cinco categorías: 1 (entre 6 y 10 especies), 2 (entre 11 y 15 especies), 3 (entre 16 y 20), 4 (entre 21 y 25) y 5 (entre 26 y 30) (*Fig. 6*).

Tabla 5

Lista de especies de peces observadas en sitios de pesca de langosta en el PNAA. Las familias fueron ordenadas alfabéticamente, los nombres comunes son los utilizados en las costas de la península de Yucatán

Acanthuridae	<i>Acanthurus chirurgus</i> (Bloch 1787)	cirujano
	<i>Acanthurus coeruleus</i> Bloch y Schneider 1801	cirujano
	<i>Acanthurus tractus</i> Poey 1860	cirujano
Aulostomidae	<i>Aulostomus maculatus</i> Valenciennes 1841	pez trompeta
Balistidae	<i>Balistes vetula</i> Linnaeus 1758	pez trompeta
	<i>Canthidermis sufflamen</i> (Mitchill 1815)	lija
Carangidae	<i>Caranx crysos</i> (Mitchill 1815)	cojinuda negra
	<i>Caranx ruber</i> (Bloch 1793)	cojinuda
Chaetodontidae	<i>Chaetodon capistratus</i> Linnaeus 1758	mariposa de cuatro ojos
	<i>Chaetodon ocellatus</i> Bloch 1787	mariposa ocelada
	<i>Chaetodon striatus</i> Linnaeus 1758	mariposa estriado
Dasyatidae	<i>Hypanus americana</i> (Hildebrand & Schroeder 1928)	raya de espina
Diodontidae	<i>Diodon hystrix</i> Linnaeus 1758	guanábana
Ginglymostomatidae	<i>Ginglymostoma cirratum</i> (Bonnaterre 1788)	tiburón gata
Gobiidae	<i>Elacatinus</i> spp.	góbido
Haemulidae	<i>Anisotremus virginicus</i> (Linnaeus 1758)	chabela
	<i>Haemulon flavolineatum</i> (Desmarest 1823)	chacchí amarillo
	<i>Haemulon plumieri</i> (Lacepède 1801)	chacchí
	<i>Haemulon sciurus</i> (Shaw 1803)	chacchí amarillo
Holocentridae	<i>Holocentrus rufus</i> (Walbaum 1792)	ardilla
Kyphosidae	<i>Kyphosus</i> spp.	cagona
Labridae	<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus 1758)	doncella azulada
	<i>Lachnolaimus maximus</i> (Walbaum 1792)	boquinete
	<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch 1791)	damisela cabeza azul
Lutjanidae	<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier 1828)	pargo criollo
	<i>Lutjanus apodus</i> (Walbaum 1792)	pargo amarillo
	<i>Lutjanus griseus</i> (Linnaeus 1758)	pargo mulato
	<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier 1828)	pargo ojón
	<i>Ocyurus chrysurus</i> (Bloch 1791)	canané
Mullidae	<i>Mulloidichthys martinicus</i> (Cuvier 1829)	ratón
Ostraciidae	<i>Lactophrys bicaudalis</i> (Linnaeus 1758)	torito
Pomacanthidae	<i>Holacanthus bermudensis</i> Goode 1876	ángel
	<i>Holacanthus ciliaris</i> (Linnaeus 1758)	ángel
	<i>Pomacanthus arcuatus</i> (Linnaeus 1758)	angelote
	<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch 1787)	angelote
Pomacentridae	<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus 1758)	sargento mayor
	<i>Stegastes</i> spp.	damisela
Scaridae	<i>Scarus coelestinus</i> Valenciennes 1840	lora de media noche
	<i>Scarus coeruleus</i> (Edwards 1771)	lora azul
	<i>Scarus guacamaia</i> Cuvier 1829	lora guacamaya
	<i>Scarus iseri</i> (Bloch 1789)	lora rayada
	<i>Sparisoma chrysopterum</i> (Bloch y Schneider 1801)	lora cola roja
	<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre 1788)	lora vieja
Scombridae	<i>Scomberomorus</i> spp.	carito
Scorpaenidae	<i>Pterois antennata</i> (Bloch 1787)	pez león

Familia	Nombre científico	Nombre común
Serranidae	<i>Epinephelus adscensionis</i> (Osbeck 1765)	cabrilla
	<i>Epinephelus guttatus</i> (Linnaeus 1758)	payaso
	<i>Epinephelus morio</i> (Valenciennes 1828)	mero rojo
	<i>Hypoplectrus puella</i> (Cuvier 1828)	vaca manchada
	<i>Mycteroperca bonaci</i> (Poey 1860)	negrillo
Sparidae	<i>Calamus bajonado</i> (Bloch y Schneider 1801)	mojarrón
Sphyraenidae	<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards 1771)	barracuda
Urotrygonidae	<i>Urobatis jamaicensis</i> (Cuvier 1816)	raya amarilla

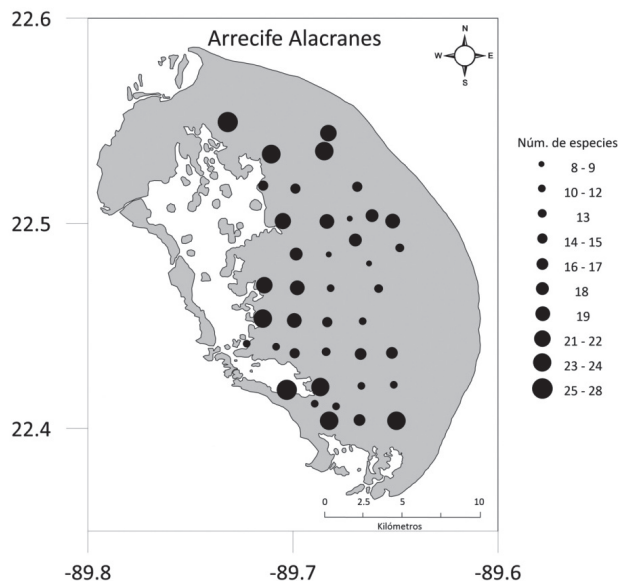


Fig. 6. Distribución de la riqueza de especies de peces en hábitats asociados a la pesca de langosta en área central del Parque Nacional Arrecife Alacranes.

La frecuencia (p. ej. presencia de cada especie en las estaciones de muestreo) fue de entre 3% y 95%; las especies que estuvieron presentes en 50% o más de las estaciones fueron 17 (Fig. 7).

Riqueza específica en la comunidad de peces

Los parámetros estimados para la riqueza específica de peces en áreas de captura de langosta en el PNAA fueron: $a = 15.74$ (EE = 0.038) y $b = 0.27$ (EE = 0.001).

La ecuación del modelo ajustado es: $S_{\max} = 57$ especies con $r^2 = 87.8$ (Fig. 8).

Discusión

En los parches coralinos de baja profundidad característicos en la zona central del PNAA en los que se desarrolló este estudio, además de la diversidad de especies de coral, la composición de la flora es compleja, hay gran abundancia de algas rojas formando grupos funcionales con especies de algas color marrón, algas verdes (poca abundancia) y pastos (*Thalassia testudinum*), que tienen un papel importante en el asentamiento y el crecimiento de la langosta *P. argus* y otros organismos bentónicos.

Estudios anteriores sobre langosta en Alacranes (Ríos-Lara *et al.* 1998, 2003, 2007, Bello-Pineda *et al.* 2005) indican que las clases de fondo elegidas para llevar a cabo esta prospección son las más propicias para encontrar langosta. Las estimaciones de densidad de langosta obtenidas en este trabajo fueron más altas que las reportadas por Ríos-Lara *et al.* (2007) para las mismas clases de fondo, a excepción de la clase tres. En la clase uno fue de 53.1 langostas/ha (estimación anterior de 21.4 langostas/ha), en la clase dos fue de 34.3 langosta/ha (antes 17.4 langostas/ha) y en la clase tres fue de cuatro langostas/ha (antes 12.3 langostas/ha). Las langostas observadas fueron organismos juveniles de entre 16 y 28 cm *Lt*, con media de 24 cm y *Pm* de 460 g. Si bien el área es propicia para el asentamiento de langosta, no se observaron organismos recién asentados (puerulus) o juveniles tempranos, debido muy probablemente a que éstos son más frecuentes en los meses de otoño-invierno. Ríos-Lara (2009) reportó langostas de entre tres y 10 cm *Lt* en el PNAA durante los meses de noviembre a enero.

Aunque las zonas de mayor abundancia de caracol (*L. gigas*) en el PNAA están en los pastizales en la zona de barlovento y alrededor de Isla

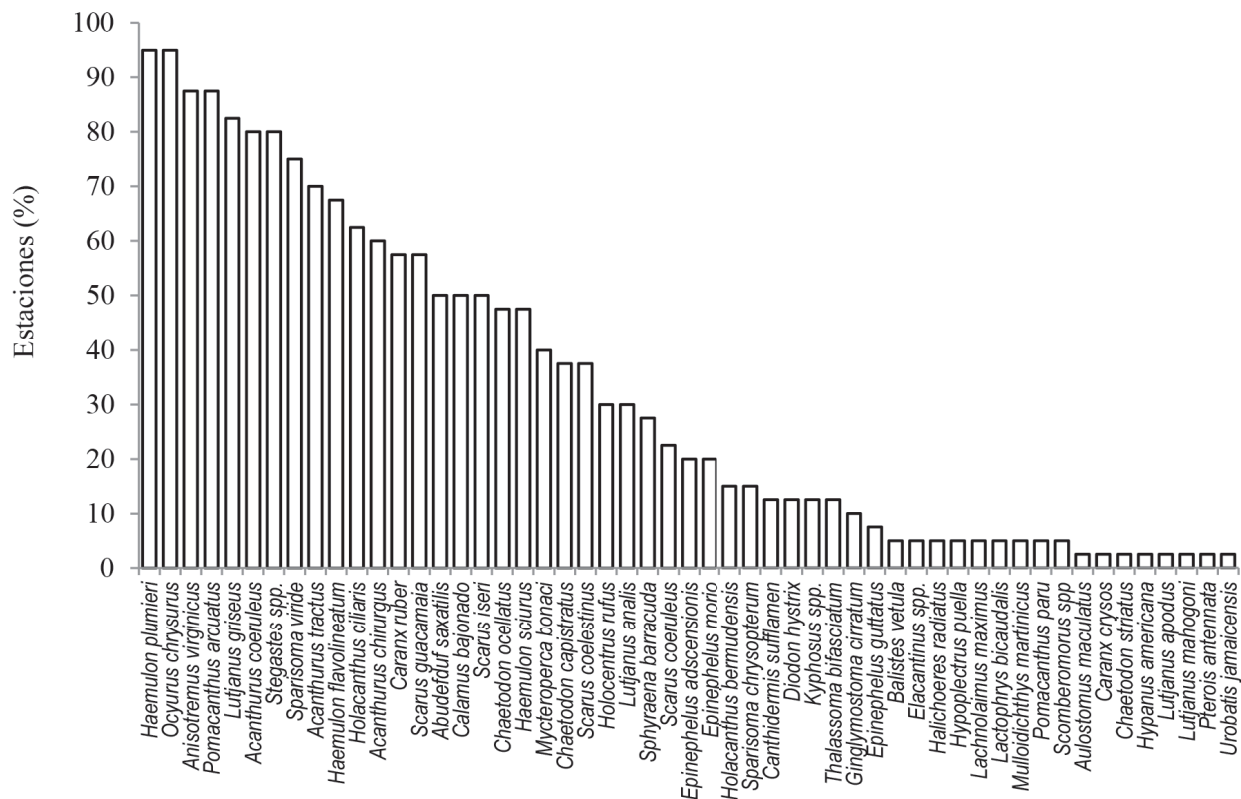


Fig. 7. Presencia de las especies de peces en las estaciones de muestreo en el Parque Nacional Arrecife Alacranes, Yucatán.

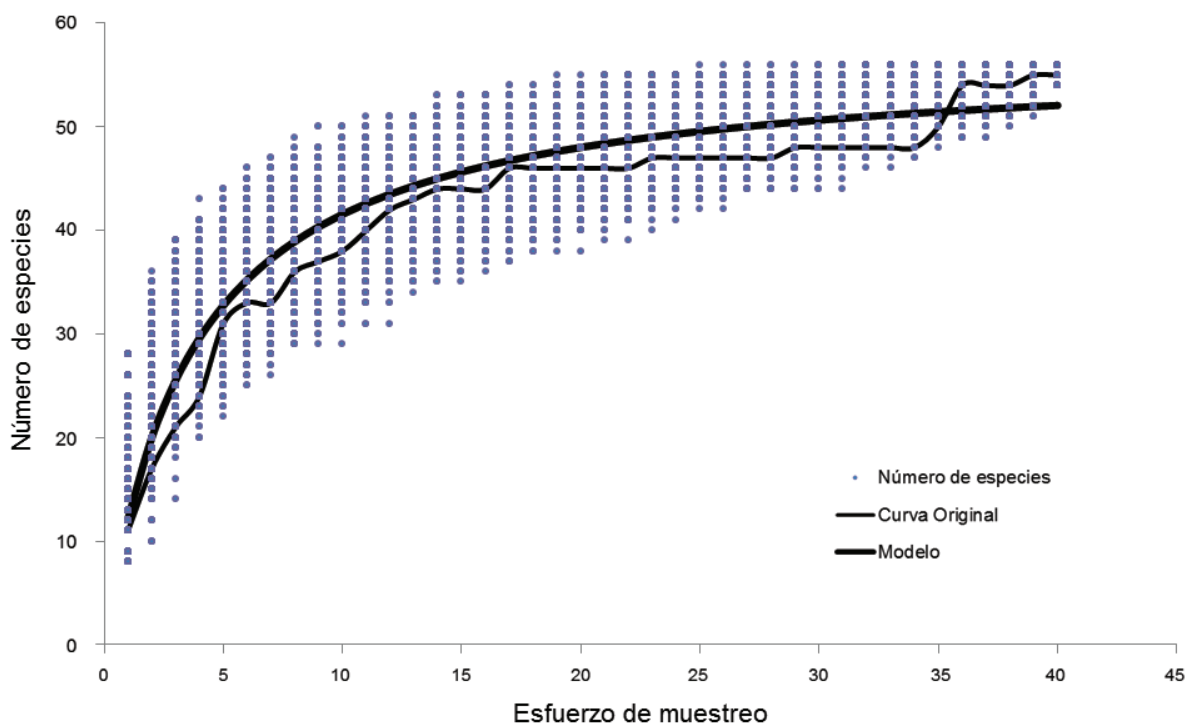


Fig. 8. Modelo de regresión no lineal ajustado para la relación entre el número de especies y el esfuerzo de muestreo. Los puntos corresponden a observaciones de nuevas especies para diferentes esfuerzos acumulados.

Pérez, su densidad fue de entre 0.00070 y 0.00200 caracoles/m², mayor densidad a la reportada por Ríos-Lara *et al.* (1998) de 0.00048 caracoles/m² y coincidiendo con el límite inferior de las reportadas por Pérez-Pérez y Aldana-Aranda (2000), de entre 0.00200 y 0.01200 caracoles/m². Aunque la densidad de los organismos puede variar de un año a otro debido a la variación del reclutamiento en el arrecife, también puede deberse a que hubo áreas más propicias para caracol, donde la densidad pudo ser mayor, pero que no fueron visitadas. Dentro de la zona de estudio se puede observar mayor densidad de caracol hacia barlovento (Fig. 4), lo que coincide con la presencia de pastizales y también con la cercanía de las islas Pérez, Blanca y Desertora (Fig. 1).

En el caso del pepino de mar, no hay indicadores de abundancia que se hayan obtenido con anterioridad para el PNAA. En la costa de Yucatán, donde existe una pesquería de pepino, se han obtenido estimaciones de densidad, abundancia y biomasa de otras especies: *Astichopus multifidus*, *Isostichopus badionotus* y *Holothuria floridana* (Zetina-Moguel *et al.* 2003, Hernández-Flores *et al.* 2015), siendo las dos últimas las que soportan la pesquería. La especie mejor cotizada es *I. badionotus* y, si bien *H. floridana* se cotiza a un precio bajo, tiene mercado. Sobre *H. mexicana* se encontraron dos estimaciones de densidad para zonas de pastizal (*Thalassia*) en Venezuela y Colombia (Tagliafico *et al.* 2011, López-Navarro *et al.* 2015³). Se reportan estimaciones de densidad para esta especie de 14, tres y cinco organismos/ha, cifra similar a la de 10 organismos/ha reportados para la isla Cubagua, Venezuela (Tagliafico *et al.* 2011).

La distribución de la densidad de langosta, caracol y pepino de mar (Figs. 3, 4 y 5) en el área de estudio, muestra diferencias que responden a las necesidades de hábitat de cada especie.

Con referencia al número de especies de peces observado (riqueza específica) en hábitats propicios para la langosta *P. argus* en la zona central del PNAA está subestimada, ya que las observaciones se realizaron en horas del día (9:00 am a 15:00 pm), sólo hasta 15 m de profundidad, sólo en el área central. No se consideraron especies crípticas, ni pequeños peces difíciles de observar a simple vista ni tampoco especies de peces depredadoras que se sabe podrían visitar

el área durante la noche en busca de alimento, provenientes de zonas de mayor profundidad alrededor del arrecife Alacranes. González-Gándara y Arias-González (2001) confeccionaron en Alacranes una lista de 279 especies, 141 géneros y 65 familias. Una de las ventajas de la predicción de la riqueza específica en los ecosistemas es que permite explorar la pertinencia de la observación de las especies en relación con la ocurrencia teórica esperada y de esta manera brinda criterios para manejar o intensificar, en la perspectiva del análisis, el esfuerzo de muestreo (Zetina-Ríos *et al.* 2012).

Literatura citada

- Aldana-Arana D, E Baqueiro-Cárdenas. 2010. Moluscos gasterópodos con potencial pesquero. *En: R Durán García, ME Méndez González (eds.). Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán.* CICY/PPD-FMAM/CONABIO/SEDUMA, México. pp: 458-459.
- Bello-Pineda J, V Ríos, MA Liceaga, C Zetina, K Cervera, P Arceo, H Hernández. 2005. Incorporating spatial analysis of habitat into spiny lobster (*Panulirus argus*) stock assessment at Alacranes Reef, Yucatán, México. *Fisheries Research* 73(1): 37-47. DOI: 10.1016/j.fishres.2005.01.013
- Chávez E. 1990. An assessment of the queen conch *Strombus gigas*, stock of Chinchorro Bank, México. *Proceedings of the Annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 43: 23.
- Clench HK. 1979. How to make regional lists of butterflies: some thoughts. *Journal of the Lepidopterist' Society* 33: 216-231.
- Cornell H V, J H Lawton. 1992. Species interactions, local and regional processes, and limits to the richness of ecological communities: a theoretical perspective. *Journal of Animal Ecology* 61: 1-12.
- De la Torre R. 1984. *Pesquería de caracoles en el estado de Quintana Roo.* Instituto Nacional de Pesca. *Serie de Divulgación* 14: 21.
- DOF. 2012. Acuerdo por el que se da a conocer la Actualización de la Carta Nacional Pesquera. *Diario Oficial de la Federación.* México. 24 de agosto de 2012.
- González-Gándara C, JE Arias-González. 2001. Lista actualizada de los peces del Arrecife Alacranes, Yucatán, México. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 72(2): 245-258.

- Guzmán HM, CA Guevara, LC Hernández. 2003. Reproductive cycle of two commercial species of the sea cucumber (Echinodermata: Holothuroidea) from Caribbean Panama. *Marine Biology* 142(2): 271-279. DOI: 10.1007/s00227-002-0939-x
- Hernández-Flores A, A Condal, A Poot-Salazar, JC Espinoza-Méndez. 2015. Geostatistical analysis and spatial modeling of population density for the sea cucumbers *Isostichopus badionotus* and *Holothuria floridana* on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Fisheries Research* 172: 114-124. DOI: 10.1016/j.fishres.2015.07.005
- Krebs CJ. 1989. *Ecological methodology*. Harper Collins Publishers. Nueva York. 654p.
- Ley-Cooper K. 2006. Evaluación de estrategias para la explotación óptima de la población de langosta *Panulirus argus* en la Reserva de la Biosfera de Banco Chinchorro, Quintana Roo. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 124p.
- Pérez-Pérez M, D Aldana-Aranda. 2000. Distribución, abundancia, densidad y morfometría de *Strombus gigas* (Mesogasteropoda: Strombidae) en el Arrecife Alacranes, Yucatán México. *Revista Biología Tropical* 48 Suplemento 1: 51-57.
- Quijano FA. 1988. El recurso caracolero en el Caribe mexicano. En: *Los recursos pesqueros del país. Memorias XXV Aniversario del Instituto Nacional de la Pesca*, pp: 497-512.
- Ríos-Lara GV. 2009. Identificación del hábitat y de los factores que determinan la distribución espacial de langosta en la plataforma de Yucatán: Modelación y evaluación de la población. Tesis de Doctorado. CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida. México. 155p.
- Ríos-Lara GV, S Salas, J Bello-Pineda, I Peniche-Ayora. 2007. Distribution patterns of spiny lobster (*Panulirus argus*) at Alacran Reef, Yucatán: Spatial analysis and inference of preferential habitat. *Fisheries Research* 87(1): 35-45. DOI: 10.1016/j.fishres.2007.06.021
- Ríos-Lara GV, C Zetina-Moguel, A Ramírez-Estévez, C Aguilar-Cardozo. 2012. Evaluación de los stock de langosta (*Panulirus argus*) en diferentes zonas de pesca de la costa de Yucatán y Quintana Roo, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 64: 442-448.
- Ríos-Lara GV, J Bello-Pineda, CE Zetina-Moguel, K Cervera-Cervera, P Arceo-Briseño. 2003. Estimación de densidad, abundancia y biomasa de la langosta espinosa *P. argus* en el Arrecife Alacranes en los años 1997-1999 con aplicación de sistemas de información geográfica. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 54: 272-284.
- Ríos-Lara GV, K Cervera-Cervera, JC Espinoza-Méndez, M Pérez-Pérez, C Zetina-Moguel, F Chable-Ek. 1998. Estimación de las densidades de langosta espinosa (*Panulirus argus*) y caracol rosado (*Strombus gigas*) en el área central del arrecife Alacranes, Yucatán México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 50: 104-127
- Seber GAF. 1982. *The estimation of animal abundance*. Edward Arnold. United Kingdom. 654p.
- Soberón J, J Llorente. 1993. The use of species accumulation functions for prediction of species richness. *Conservation Biology* 7(3): 480-488.
- Tagliafico A, MS Rangel, N Rago. 2011. Distribución y densidad de dos especies de holoturoideos en la isla de Cubagua, Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 59(2): 843-852.
- Thompson SK 1992. *Sampling*. John Wiley & Sons. Inc. Nueva York. 503p.
- Toral-Granda V. 2008. Population status, fisheries and trade of sea cucumbers in Latin America and the Caribbean. In: V Toral-Granda, A Lovatelli, M Vasconcellos (eds.). *Sea cucumbers. A global review of fisheries and trade. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 516: 213-229.
- Zetina-Moguel CE, GV Ríos-Lara, IC Hernández-Herrera, M Guevara-Ortiz, E Ortiz-Avilés, JEM Pool-Gómez. 2002. *Catálogo de especies de pepino de mar comercializables del Estado de Yucatán*. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México. 103p.
- Zetina-Moguel CE, GV Ríos-Lara, M Koyoc-Cruz, I Hernández-Herrera, K Cervera-Cervera, D De Anda-Fuentes, P Arceo-Briseño, E Ortiz, M Guevara. 2003. Estimación de la biomasa de pepino de mar (*Astichopus multifidus*, *Isostichopus badionotus* y *Holothuria floridana*) en dos áreas de la costa de Yucatán entre octubre de 2000 y marzo de 2001. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 54: 298-306
- Zetina-Ríos KE, GV Ríos-Lara, R Moreno-Mendoza, JC Espinoza-Méndez, C Zetina-Moguel. 2012. Riqueza específica de peces en caladeros de pesca de langosta espinosa *Panulirus argus* en la costa central de Yucatán, México. *Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 64: 468-471.

Recibido: 15 de diciembre de 2017
Aceptado: 30 de enero de 2019