

Variación espacio-temporal de la ictiofauna del Parque marino Xel-Há, Caribe mexicano y su relación con parámetros fisicoquímicos

Alejandro Aldana Moreno, Jorge Montero Muñoz & Dalila Aldana Aranda

Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Antigua carretera Progreso Km. 6, Cordemex, 97310, Mérida, Yucatán, México; axaldana1z@gmail.com, jmontero@mda.cinvestav.mx, daldana@mda.cinvestav.mx

Recibido 11-I-2016. Corregido 24-VI-2016. Aceptado 26-VII-2016.

Abstract: Spatio-temporal variation of the ichthyofauna in Xel-Ha, Mexican Caribbean Marine Park and its relationship to physico-chemical parameters. Xel-Ha is a private marine park where the extraction of flora and fauna is not allowed. Here, reef fish are one of the main touristic attractions, but there are no published surveys focused on fish community in this site. In this study we analyzed the spatio-temporal variation of the fish community in different areas of the marine park Xel-Há. Abundance and richness were estimated during one-year period (2012-2013); visual censuses using fixed transects of 100x5 m each distributed in 21 transects along five sites were established in different zones: “Bocana”, “Center”, “North branch”, “Cave” and “River”, including the inlet mouth to the sea, brackish mangrove channels and a zone with freshwater influence. To characterize the fish community, we used species richness, abundance, diversity, and density compared among zones and climatic seasons (rain, “norths” and dry). The similarity among zones and seasons was estimated using a multidimensional scaling analysis. The replacement on the species composition among seasons and sites was realized based on the presence-absence of fish. The influence of physicochemical variables such as temperature, salinity and dissolve oxygen concentration in the fish community was estimated by a principal component analysis. A total of 22 641 individuals were recorded corresponding to sixty-three species over the year. Abundance was higher during the windy season (locally named “norths”) with 7 991 organisms. The most representative species according with abundance and frequency of occurrence were: *Haemulon sciurus*, *H. flavolineatum*, *Lutjanus griseus*, *Acanthurus coeruleus*, *Abudefduf saxatilis*, and *Gerres cinereus*. Diversity increased from the rainy to the dry season; species richness and diversity was lower in “River” than other sites in Xel-Ha. Most species (54 %) species were residents through the year. Four non-shared species were observed during the rainy season and three in dry season. Dissolved oxygen was the most influential variable on the fish community composition among zones. Xel-Ha houses nearly 20 % of fish biodiversity reported for the Mexican Caribbean, and the predominance of juveniles of several species confirms its role as a nursery area. *Rev. Biol. Trop.* 64 (4): 1353-1367. Epub 2016 December 01.

Key words: ichthyofauna; community structure; conservation; ecotourism; Mexican Caribbean.

Las comunidades de peces constituyen sistemas complejos y dinámicos (Sale, 1991) que presentan una composición propia, estructura, relaciones ambientales. Además, se desarrollan y funcionan en un mismo espacio y tiempo determinado (Whittaker, 1970) su importancia ha sido reconocida como indicadores claves en la degradación del hábitat, la producción en ecosistemas, así como en el flujo e intercambio de energía entre sistemas adyacentes

(Ackerman & Bellwood, 2000) que son controlados por las poblaciones de otras especies (Norman & Jones, 1984).

En el Caribe mexicano se han realizado estudios sobre asociaciones de peces en donde se ha evaluado su variación a nivel temporal, espacial y entre hábitats. Salazar-Murguía, González-Salas, & Arias-González (1998) y Núñez-Lara & Arias-González (1998) caracterizaron la estructura comunitaria de peces

en Boca Paila, Tampalam y Majahual, determinando que la topografía, la profundidad y la cobertura de corales fueron las variables que definieron mejor las preferencias del hábitat en los peces. Por su parte, Loreto, Lara, & Schmitter-Soto (2003) en Banco Chinchorro, estudiaron la comunidad de peces en el atolón arrecifal e identificaron seis grupos tróficos. Por otra parte, Núñez-Lara, Arias-González, & Legendre (2005) en la franja arrecifal de Caribe mexicano, resaltaron la importancia de la geomorfología, presión antropogénica y gradiente ambiental sobre las comunidades de peces arrecifales.

En el Caribe mexicano hay 12 Áreas Marinas Protegidas, cuatro Reservas de la Biosfera, cinco Áreas de Flora y Fauna Protegidas y siete Parques Nacionales, de los cuales tres están bajo régimen privado, uno de ellos es Xel-Há de Experiencias Xcaret (Gutiérrez-Castro, Torruco-Gómez, Fraga-Berdugo, Cabrera-Vázquez, & González-Solis 2008). Este último, opera desde 1997 como un parque acuático natural sin extracción pesquera de especies ícticas e invertebrados (Córdova, Sagahón, & Santaolaya 2007).

La ictiofauna en Xel-Há es considerada una de sus principales atracciones turísticas-recreativas, sin embargo, no ha sido estudiada

formalmente. Para garantizar la conservación y manejo sustentable de cualquier parque marino, es necesario conocer la estructura de la comunidad de peces y evaluarla periódicamente, así como su variabilidad temporal (Cobián, Claro, Chevalier, Perera, & Caballero 2011). Los objetivos del estudio fueron evaluar la variación temporal y espacial de la abundancia, riqueza y diversidad de la comunidad de peces en el parque Xel-Há, así como la influencia de las variables fisicoquímicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. El parque Xel-Há se localiza entre las coordenadas (20°18'51" - 20°19'00" N & 87°21'20" - 87°21'25" W) en la costa este de la península de Yucatán en el Caribe mexicano, 15 km al norte del poblado de Tulum y 48.3 km al sur de Playa del Carmen, en el Estado de Quintana Roo, México (Fig. 1). Presenta una vegetación de selva perennifolia y baja caducifolia, con manglares *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*, su clima es de tipo Aw (cálido subtropical). La temperatura media anual es de 24.9±3.1 °C, con promedios de precipitación anual de 1 079 mm (Peel, Sáenz, May, Montero-Muñoz, & Aldana-Aranda, 2010). El parque tiene una extensión

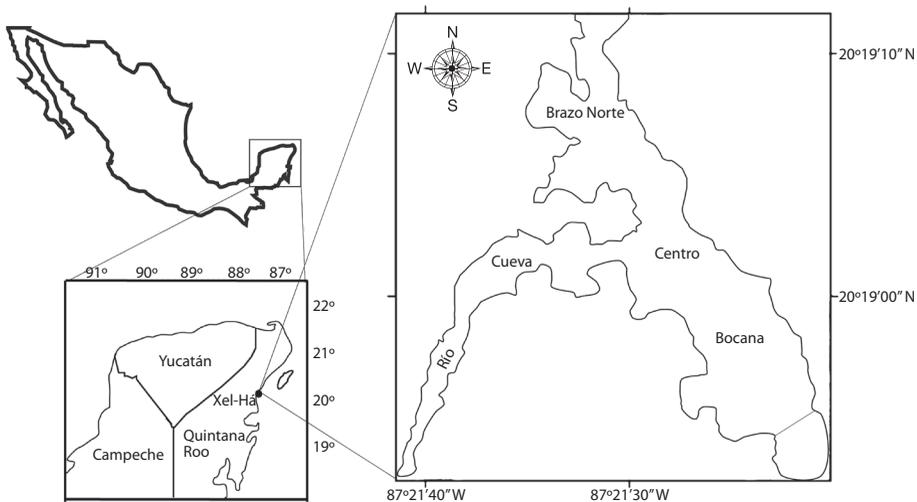


Fig. 1. Parque marino de Xel-Há, se muestran los sitios de muestreo.

Fig. 1. Marine Park Xel-Ha, sites are showed.

de 84 ha con 10 ha de cuerpos de agua que forman una ensenada pequeña o caleta conectada con el mar Caribe a través de una boca de 98 m de anchura (Aldana-Aranda, Sánchez-Crespo, Reynaga-Álvarez, Patiño-Suárez, George-Zamora, & Baqueiro-Cárdenas, 2005). Recibe aportes de agua continental del sistema Sac Actún y del río subterráneo Xunaan Ha que propician una zona de mezcla de agua dulce y marina (Córdova et al., 2007). El tipo de sustrato, es principalmente arena fina y gruesa, zonas pedregosas con rocas grandes (<2 m²), pastos marinos, principalmente *Halodule wrightii* (Asch 1843) así como pastizales de *Thalassia testudinum* (Konig 1805) y pequeñas algas: *Bryothamnion* sp., *Halimeda opuntia* (Lamouroux 1816), *Cladophora catenata* (Kützinger 1843), *Caulerpa sertularioides* (Howe 1905) y *Rhizoclonium riparium* (Harvey 1849), e incluso parches de corales.

Toma y análisis de datos. Durante 2013 se midió mensualmente la temperatura (°C), salinidad (ups) y oxígeno disuelto (mg/L) con un multisensor de campo YSI-85 (±0.1), en cada zona de muestreo durante un año.

Se realizaron censos visuales con buceo autónomo empleando la técnica de transectos fijos de 100x5 m (Bortone, Samoilys, & Francour 2000; Kingsford, 2000). Para la identificación de especies, se estudiaron previamente los peces arrecifales del Caribe utilizando literatura especializadas (Eschmeyer, 1998; Schmitter-Soto, Vásquez-Yeomans, Aguilar-Perera, Curiel-Mondragón, & Caballero-Vázquez 2000; Nelson, 2006; Humann & Deloach, 2002). Se establecieron 21 transectos referenciados geográficamente distribuidos en cinco zonas: Bocana (BOC), Centro (CEN), Brazo Norte (BZN), Cueva (CVA) y Río (RIO), los cuales fueron muestreados mensualmente durante un ciclo anual (2012-13). Para evaluar la variación temporal se consideraron las temporadas climáticas propuestas por la Secretaría Agricultura y Recursos Hidráulicos (1989) para la península de Yucatán la temporada de secas: marzo-mayo, se caracteriza por una precipitación pluvial de 0.50 mm;

la temporada de lluvias: junio-octubre, presenta una precipitación mayor a 500 mm y la temporada de “nortes”: noviembre-febrero donde se presentan vientos provenientes (>80 km/h), poca lluvia (20-60 mm) y baja temperatura en el aire (22 °C).

Las especies fueron clasificadas en dominantes (D), frecuentes (F), comunes (C) y raras (R) mediante la prueba de Olmstead-Turkey (Sokal & Rohlf, 1969), modificada por García de León (1988), el cual determina la separación de las especies, de acuerdo con sus valores de abundancia total de peces de cada taxón en los transectos, y el porcentaje de la frecuencia de aparición de cada especie. Las especies “dominantes” son aquellas cuyos valores de abundancia y frecuencia de aparición rebasan la media aritmética; las “comunes”, aquellas donde sus valores de abundancia son mayores a la media; las “frecuentes”, presentan porcentajes de frecuencia de aparición mayores al promedio y las “raras”, donde ambos estimadores son menores a la media aritmética. Por otra parte, se estimaron los descriptores comunitarios de riqueza de especies, diversidad de Shannon H' en bits por individuo, abundancia total por transecto y la densidad promedio estimada a partir del área de los transectos (500 m²).

La prueba Kruskal-Wallis estimada con el programa STATISTICA, permitió comparar los descriptores comunitarios entre transectos, zonas de muestreo y temporadas climáticas. Se utilizó también análisis de varianza por permutaciones con el programa PERMANOVA+ PRIMER-E (Anderson, Gorley, & Clarke, 2008) para evaluar la variación en la abundancia de especies a nivel de transectos, zonas y temporadas utilizando un diseño anidado. Esta prueba toma en cuenta la disimilitud (distancia de Bray-Curtis) entre pares de muestras o variables y está basada en la técnica de permutación para estimar un valor de *p* con la prueba estadística Pseudo-F (Anderson et al., 2008). Los resultados fueron representados gráficamente con un análisis de escalamiento multidimensional no métrico propuesto por Clarke & Warwick (2001). Además, se aplicó un análisis SIMPER (PRIMER-E)

que considera la matriz de similitud para identificar las especies con mayor porcentaje de contribución por temporada y por zonas, Por último, se crearon diagramas de Venn basados en presencia-ausencia, para conocer las especies compartidas y exclusivas entre zonas y temporadas. Finalmente, se aplicó un análisis de componentes principales a partir de una matriz de datos estandarizados, considerando los parámetros fisicoquímicos, para determinar su efecto sobre los descriptores comunitarios.

RESULTADOS

VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS ENTRE TEMPORADAS Y ZONAS: La temperatura media anual en la superficie fue 29.4 ± 0.5 °C y en fondo 28.5 ± 1.6 °C y la salinidad fue de 14.8 ± 2.5 ups 28.9 ± 7.5 ups. El promedio de la concentración

de oxígeno disuelto fue de 5.3 ± 1.2 mg/L en superficie y 4.8 ± 1.1 mg/L en el fondo.

La temporada de lluvias fue más cálida que las demás, con una temperatura de fondo de 29.5 ± 1 °C, en cambio, secas fue la más fría 27.5 ± 0.5 °C. La salinidad en lluvias fue la más alta con 30.6 ups, y en “nortes” la más baja 26.9 ups. La concentración de oxígeno fluctuó de 3.3 en lluvias a 4.6 mg/L. en “nortes”. Las variables analizadas no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre temporadas.

Entre zonas, la temperatura anual más alta se registró en “Cueva” con 29.9 °C, le siguió “Brazo Norte” con 28.2 °C, mientras que “Bocana” presentó la más baja con 27.9 °C. La salinidad en “Bocana” fue la más alta con 36.2 ups y la menor en “Río” con 26.5 ups. Para el oxígeno disuelto, “Bocana”, presentó la concentración más alta con 5.3 mg/L y “Río”, el valor más bajo con 2.6 mg/L (Cuadro 1).

CUADRO 1

Media anual de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en la superficie y el fondo del parque marino Xel-Há, registrado por zonas y entre temporadas

TABLE 1

Annual average of temperature, salinity and dissolved oxygen in surface and bottom at Marine Park Xel-Ha, registered per stations and among seasons

Temporada	Zona	Temperatura (°C)		Salinidad (ups)		Oxígeno disuelto (mg/L)	
		S	F	S	F	S	F
LLluvias	BOC	27.11	29.42	16.34	37.25	6.09	4.11
	CEN	26.81	29.40	15.90	33.62	7.09	3.54
	BZN	26.61	29.23	14.19	33.90	6.71	2.78
	CVA	26.60	30.73	11.68	32.32	4.96	3.37
	RIO	26.53	28.77	13.81	15.68	4.64	2.94
	Media	26.73	29.51	14.38	30.55	5.90	3.35
	±	0.24	0.73	1.86	8.51	1.07	0.53
Nortes	BOC	26.78	26.88	16.39	34.78	5.62	5.85
	CEN	27.20	26.58	17.10	30.13	6.23	4.06
	BZN	27.11	27.18	18.25	31.83	6.89	4.89
	CVA	26.84	31.60	16.84	27.38	5.47	5.74
	RIO	26.10	30.68	11.75	10.20	6.33	2.42
	Media	26.81	28.58	16.07	26.86	6.11	4.59
	±	0.43	2.37	2.51	9.69	0.57	1.41
Secas	BOC	26.25	27.40	16.23	36.68	4.17	5.88
	CEN	26.60	27.73	16.33	28.58	4.83	4.70
	BZN	25.98	28.10	16.45	24.68	3.69	4.49
	CVA	26.38	27.48	11.38	29.50	3.43	4.96
	RIO	25.08	26.85	9.85	27.58	3.50	2.46
	Media	26.06	27.51	14.05	29.40	3.92	4.50
	±	0.59	0.46	3.18	4.45	0.58	1.26

S= Superficie/surface, F= Fondo/bottom. BOC= Bocana, CEN= Centro, BZN= Brazo Norte, CVA= Cueva, RIO= Río. ± Desviación estándar.

Composición ictica: La composición ictica del parque Xel-Há, está conformada por 63 especies, 34 géneros y 25 familias con un total de 22 641 organismos.

Las familias más representativas, de acuerdo con el número de especies fueron: Haemulidae con nueve especies, Lutjanidae con ocho, Labridae, Scaridae y Pomacentridae con seis cada una, y Carangidae con cinco. Acorde con la categorización jerárquica, las especies mejor representadas con base en su abundancia total por transectos y porcentaje de frecuencia de aparición fueron: *Haemulon sciurus* (Shaw 1803) con una abundancia de 4 500 organismos

y 100 % de frecuencia de aparición; le siguió *H. flavolineatum* (Desmarest 1823) que presentó una abundancia de 2 907 ejemplares y una frecuencia de 95.2 %. *Lutjanus griseus* (Linnaeus 1758) obtuvo una abundancia de 2 660 peces y frecuencia de 100 %. La especie *Acanthurus coeruleus* (Bloch & Schneider 1801) presentó 1 896 peces y una frecuencia de 98.4 %, y la especie *Abudefduf saxatilis* (Linnaeus 1758) con una abundancia de 1 513 y frecuencia de 92.1 % (Cuadro 2).

Únicamente la especie *Mugil* sp. (Linnaeus 1758), se clasificó como especie “común”, con una abundancia superior de 1 487 organismos y

CUADRO 2

Categorización de las especies con base en su abundancia total y su porcentaje de frecuencia de aparición

TABLE 2
Characterization of species based on total abundance and percentage frequency of occurrence

Especies	AB N= 22 640	% FO	Categorías	Especies	AB N= 22 640	% FO	Categorías
<i>Haemulon sciurus</i>	4 500	100.00	D	<i>Haemulon chrysargyreum</i>	135	11.11	R
<i>Haemulon flavolineatum</i>	2 907	95.24	D	<i>Scarus taeniopterus</i>	94	28.57	R
<i>Lutjanus griseus</i>	2 660	100.00	D	<i>Thalassoma bifasciatum</i>	88	25.40	R
<i>Acanthurus coeruleus</i>	1 896	98.41	D	<i>Stegastes leucostictus</i>	73	33.33	R
<i>Abudefduf saxatilis</i>	1 513	92.06	D	<i>Caranx hippos</i>	58	23.81	R
<i>Gerres cinereus</i>	968	100.00	D	<i>Haemulon striatum</i>	55	11.11	R
<i>Kyphosus</i> sp.	703	65.08	D	<i>Caranx crysos</i>	53	25.40	R
<i>Scarus iseri</i>	698	65.08	D	<i>Haemulon parra</i>	48	33.33	R
<i>Albula vulpes</i>	681	61.90	D	<i>Scarus guacamaia</i>	41	11.11	R
<i>Stegastes diencaeus</i>	557	85.71	D	<i>Halichoeres garnoti</i>	38	12.70	R
<i>Acanthurus bahianus</i>	544	88.89	D	<i>Trachinotus falcatus</i>	31	28.57	R
<i>Halichoeres bivittatus</i>	362	46.03	D	<i>Pomacanthus paru</i>	28	26.98	R
<i>Mugil</i> sp.	1 487	31.75	C	<i>Scarus vetula</i>	27	6.35	R
<i>Archosargus probatocephalus</i>	275	53.97	F	<i>Halichoeres radiatus</i>	23	14.29	R
<i>Lutjanus apodus</i>	252	77.78	F	<i>Stegastes diencaeus</i>	22	15.87	R
<i>Caranx latus</i>	247	41.27	F	<i>Tylosurus crocodilus</i>	21	23.81	R
<i>Sparisoma chrysopteron</i>	237	66.67	F	<i>Ocyurus chrysurus</i>	17	20.63	R
<i>Acanthurus chirurgus</i>	206	69.84	F	<i>Anisotremus surinamensis</i>	17	11.11	R
<i>Lutjanus cyanopterus</i>	196	49.21	F	<i>Haemulon carbonarium</i>	16	7.94	R
<i>Lutjanus analis</i>	193	63.49	F	<i>Chaetodon ocellatus</i>	15	11.11	R
<i>Caranx ruber</i>	173	63.49	F	<i>Chaetodipterus faber</i>	13	3.17	R
<i>Sparisom aviride</i>	172	63.49	F	<i>Eucinostomus melanopterus</i>	12	1.59	R
<i>Lutjanus campechanus</i>	80	39.68	F	<i>Chaetodon striatus</i>	11	7.94	R
<i>Lutjanus synagris</i>	59	41.27	F	<i>Canthigaster rostrata</i>	9	7.94	R
<i>Dasyatis americana</i>	41	38.10	F	<i>Haemulon plumierii</i>	8	6.35	R
<i>Sphyrna barracuda</i>	34	46.03	F	<i>Archosargus rhomboidalis</i>	8	6.35	R

CUADRO 2 (Continuación) / TABLE 2 (Continued)

Especies	AB	% FO	Categorías	Especies	AB	% FO	Categorías
	N= 22 640				N= 22 640		
<i>Mycteroperca bonaci</i>	8	4.76	R	<i>Gymnothorax funebris</i>	2	3.17	R
<i>Bothus lunatus</i>	7	6.35	R	<i>Pterois volitans</i>	2	3.17	R
<i>Stegastes variabilis</i>	5	4.76	R	<i>Cichlasoma urophthalmus</i>	2	1.59	R
<i>Chaetodon capistratus</i>	4	4.76	R	<i>Lachnolaimus maximus</i>	2	1.59	R
<i>Pareques acuminatus</i>	3	4.76	R	<i>Sphoeroides spengleri</i>	1	1.59	R
<i>Abudefduf taurus</i>	3	1.59	R	Media	359.38	34.90	

D= Dominantes, C= Comunes, F= Frecuentes, R= Raras. / D= Dominants, C= Commons, F= Frequent, R= Rares.
 AT= Abundancia total/ Total abundance. / % FO= Porcentaje de frecuencia de aparición / frequency.

una frecuencia de aparición inferior a la media (31.75 %). De las 63 especies, 13 se ubican en la categoría de “frecuentes” y 37 dentro de las “raras” (Cuadro 2).

Variación temporal: Entre temporadas climáticas, “nortes” presentó el mayor número de peces con 7991, y secas el menor número de individuos 7059. El análisis reveló que las especies: *H. sciurus*, *H. flavolineatum*, *L. griseus*, *A. coeruleus*, *A. saxatilis* y *Gerres cinereus* (Quoy & Gaimard 1824) caracterizaron a la comunidad de peces del parque Xel-Há con base en su abundancia y frecuencia de aparición durante todo el ciclo anual. Las especies *Acanthurus bahianus* (Castelnau 1855) fue característica en lluvias; en cambio *Stegastes fuscus* (Cuvier 1830) lo fue en “nortes”; mientras que *Albula vulpes* (Linnaeus 1758) y *Halichoeres bivittatus* (Bloch 1791) en secas. Por su parte, la especie *Mugil* sp. formó parte de la comunidad de peces en las temporadas de “nortes” y secas (Fig. 2).

La riqueza, densidad y número de individuos en la comunidad íctica no revelaron variación entre temporadas ($p < 0.05$). Únicamente, la diversidad (H') mostró diferencia significativa ($H'_{(2,63)} = 7.2112$ $p = 0.0272$), aumentando de lluvias a secas, de 3.08 a 3.41 bits/ind (Fig. 3). La riqueza de especies obtenida por transecto osciló de 20 a 23 especies entre temporadas. En “nortes” se presentó la mayor densidad promedio y número de individuos, de 0.76 ind./m² y 380 organismos, respectivamente. Los valores

más bajos se presentaron en secas con una densidad de 0.67 ind./m² y de 336 peces.

Variación entre zonas: Del sitio de “Bocana” a “Cueva” se presentó poca variación en

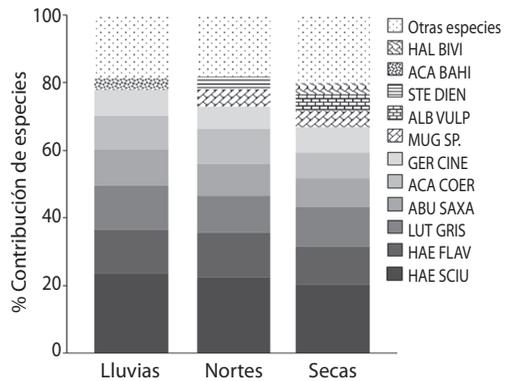


Fig. 2. Porcentaje de contribución por especie íctica en Xel-Há, que caracterizan a las temporadas climáticas. Línea de corte a 80 %. HAE SCIU: *Haemulon sciurus*, HAE FLAV: *Haemulon flavolineatum*, LUT GRIS: *Lutjanus griseus*, ABU SAXA: *Abudefduf saxatilis*, ACA COER: *Acanthurus coeruleus*, GER CINE: *Gerres cinereus*, MUG SP: *Mugil* sp., ALB VULP: *Albula vulpes*, STE DIEN: *Stegastes diencaeus*, ACA BAH: *Acanthurus bahianus* y HAL BIVI: *Halichoeres bivittatus*.

Fig. 2. Percentage of contribution per fish species at Xel-Ha, which characterize the climatic seasons. Cut-off 80 %. HAE SCIU: *Haemulon sciurus*, HAE FLAV: *Haemulon flavolineatum*, LUT GRIS: *Lutjanus griseus*, ABU SAXA: *Abudefduf saxatilis*, ACA COER: *Acanthurus coeruleus*, GER CINE: *Gerres cinereus*, MUG SP: *Mugil* sp., ALB VULP: *Albula vulpes*, STE DIEN: *Stegastes diencaeus*, ACA BAH: *Acanthurus bahianus* y HAL BIVI: *Halichoeres bivittatus*.

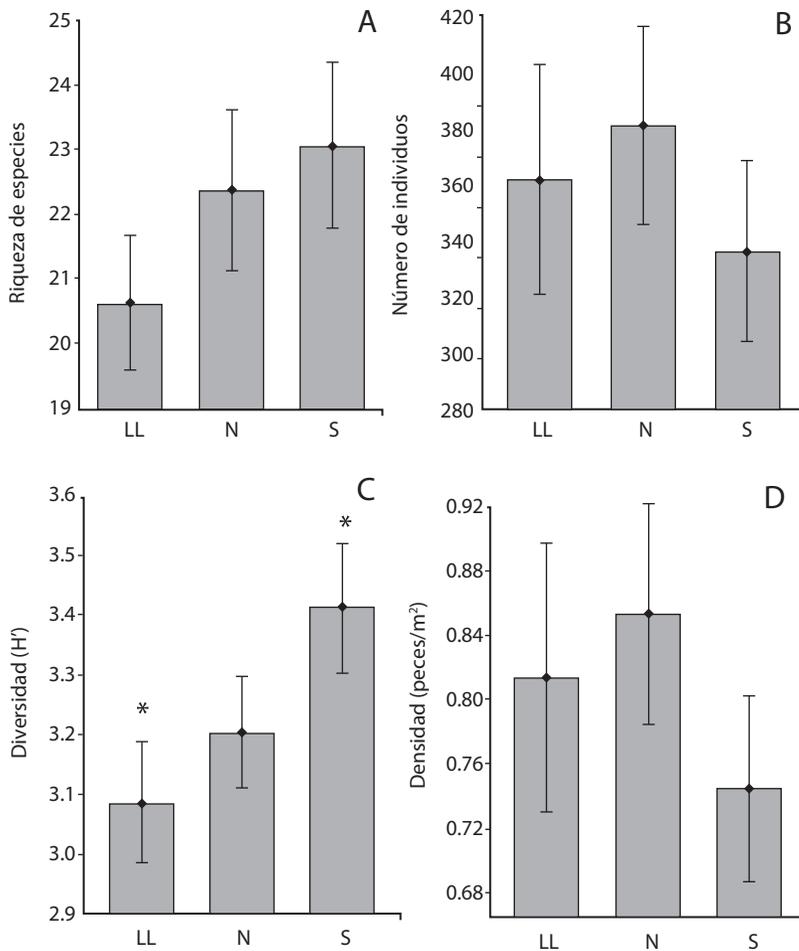


Fig. 3. Descriptores comunitarios de peces en relación a las temporadas climáticas. (A) Riqueza de especies; (B) Abundancia; (C) Índice de diversidad Shannon-Wiener (bits/ind) y (D) Densidad de peces. LL: lluvias; N: nortes y S: secas. Cada descriptor está representado con la media y su error estándar. El asterisco (*), indica diferencia significativa ($p < 0.05$). **Fig. 3.** Fish community descriptors between climatic seasons. (A) Species richness; (B) Number of individuals; (C) Shannon's index (bits/ind), and (D) Fish density. LL: rain; N: norths; and S: dry. Mean and standard error are represented for each descriptor. (*) shows significant differences ($p < 0.05$).

cuanto a los descriptores comunitarios, únicamente “Río” mostró valores significativamente menores a las demás zonas ($p < 0.05$) en cuanto a riqueza, número de individuos y diversidad (Cuadro 3). La riqueza promedio de “Bocana a Cueva” fue de 22 a 24 especies, mientras que en “Río” fue de 14 especies. En promedio, el número total de individuos entre zonas osciló de 209 en “Río” a 423 en “Cueva”. Las zonas más diversas fueron “Bocana” y “Cueva”, con

3.47 y 3.40 bits/ind. La mayor densidad se observó en “Cueva” con un promedio de 0.85 ind./m², mientras que la menor se registró en “Bocana” con 0.71 ind./m² (Fig. 4).

El análisis PERMANOVA mostró que la abundancia de especies varió a nivel de zonas (pseudo-F: 11.24, $p(\text{perm})$ 0.001). El análisis de ordenamiento NMDS demostró un patrón de disimilitud en la composición a nivel de zona acorde con un arreglo espacial de parque

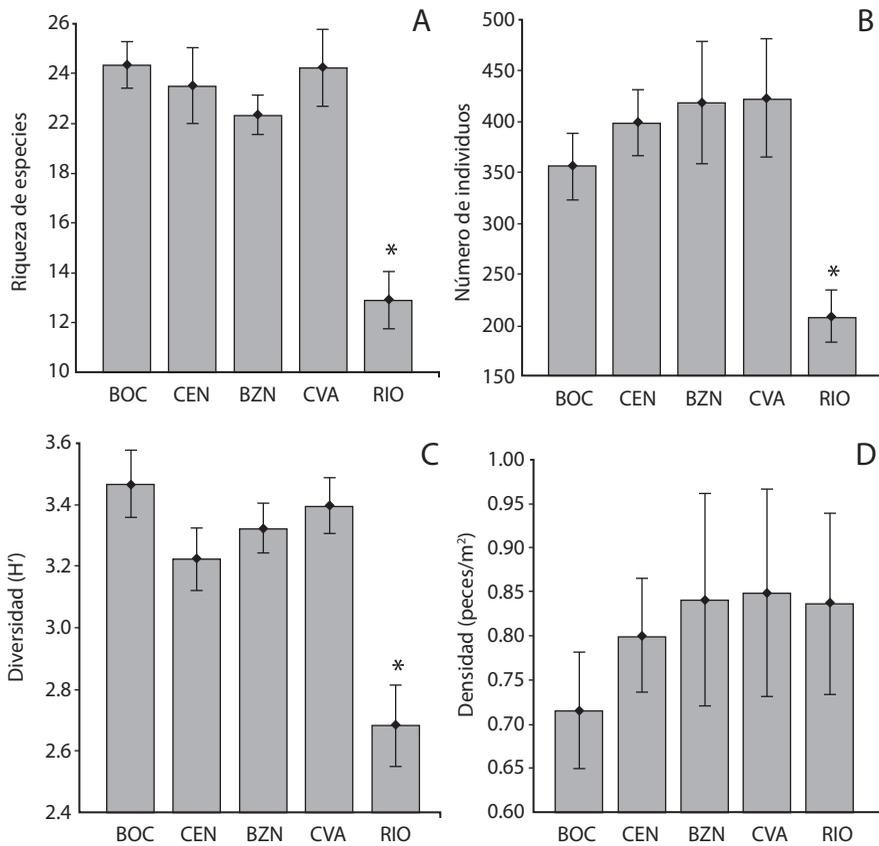


Fig. 4. Descriptores comunitarios de peces en relación a las zonas de Xel-Há. (A) Riqueza de especies; (B) Número total de individuos; (C) Índice de diversidad Shannon-Wiener (bits/ind) y (D) Densidad de peces. BOC: Bocana; CEN: Centro; BZN: Brazo Norte; CVA: Cueva y RIO: Río). Cada descriptor está representado con la media y su error estándar. El asterisco (*), indica diferencia significativa ($p < 0.05$).

Fig. 4. Fish community descriptors between the sites of Xel-Ha: (A) Species richness; (B) Number of individuals; (C) Shannon's index (bits/ind), and (D) Fish density. BOC: Bocana; CEN: Center; BZN: North Branch; CVA: Cave y RIO: River. Mean and standard error are represented for each descriptor. (*) shows significant differences ($p < 0.05$).

CUADRO3

Prueba Kruskal-Wallis, para zonas y temporadas climáticas de cada descriptor comunitario

TABLE 3

Kruskal-Wallis H test, for sites and climatic seasons for each community descriptor

K-W d.f.= 2 N= 63				K-W d.f.= 2 N= 63		
		H	p	Zonas	H	p
Temporadas	Riqueza de especies	2.3711	0.306	Riqueza de especies	22.4959	0.0002*
	Número de individuos	0.7207	0.697	Número de individuos	13.9275	0.007*
	Diversidad (H')	7.2112	0.027*	Diversidad (H')	23.0875	0.0001*
	Densidad	1.0079	0.604	Densidad	1.7598	0.779

marino Xel-Há que va desde “Bocana”, la desembocadura del mar hasta “Río” que corresponde a la zona más alejada del mar (Fig. 5).

Reemplazo del componente íctico entre temporadas y zonas: Los diagramas de Venn mostraron que temporalmente el parque marino de Xel-Há comparte 34 especies equivalente al 54 % del total de especies y no comparte 29 especies (43 %). En lluvias, cuatro especies fueron exclusivas de esta temporada: *Eucinostomus melanopterus* (Bleeker 1863), *Gymnothorax funebris* (Ranzani 1840), *Haemulon carbonarium* (Poey 1860) y *Lachnolaimus maximus* (Walbaum 1792). Mientras que, en secas, las especies fueron: *Abudefduf taurus* (Müller & Troschel 1848), *Cichlasoma urophthalmus* (Günther 1862), *Sphoeroides spengleri* (Bloch 1785) y para “nortes”, no hubo especies exclusivas (Fig. 6).

Entre zonas, se comparten de 57 a 84 % de las especies, la intersección de “Bocana-Río” es la que comparte el menor número de especies entre sí con 36 del total de

las especies, mientras que la intersección de “Bocana-Centro”, presentó el mayor número de especies compartidas con 53 del total de especies (Cuadro 4).

El análisis estadístico multivariado mostró una varianza total explicada por los dos primeros componentes de 81.3 %. Las variables de

CUADRO 4

Las interacciones comparan el número total de especies ícticas “compartidas” y “no compartidas” entre cada zona del parque marino Xel-Há. BOC: Bocana; CEN: Centro; BZN: Brazo Norte; CVA: Cueva y RIO: Río

TABLE 4

The intersections compare the total number of “shared” and “non-shared” fish species among sites of Xel-Há. BOC: Bocana; CEN: Center; BZN: North Branch; CVA: Cave y RIO: River

	BOC	CEN	BZN	CVA	RIO
BOC		53	47	46	36
CEN	10		49	48	38
BZN	16	14		50	48
CVA	17	15	13		45
RIO	27	25	15	18	

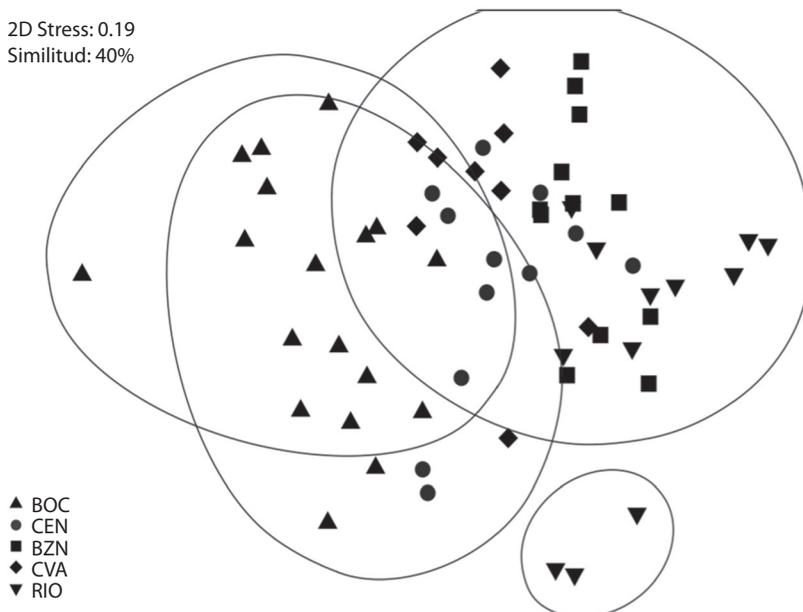


Fig. 5. Escalamiento multidimensional no métrico basado en la abundancia de especies ícticas para las zonas de muestreo de Xel-Há. BOC: Bocana; CEN: Centro; BZN: Brazo Norte; CVA: Cueva y RIO: Río.

Fig. 5. No Metric Multidimensional Scaling based on the abundance of fish species among sampling sites of Xel-Ha. BOC: Bocana; CEN: Center; BZN: North Branch; CVA: Cave y RIO: River.



Fig. 6. Diagrama de Venn, compara las especies ícticas “compartidas” y “no compartidas” entre temporadas climáticas. Las interacciones, representan el número total de especies compartidas entre temporadas. LL: lluvias; N: nortes y S: secas.
Fig. 6. Diagram of Venn, compare “shared” and “non-shared” fish species among climatic seasons. The interactions represent the total number of shared species among seasons. LL: rain; N: norths; and S: dry.

correlación primaria mostraron que el oxígeno disuelto explicó el 63 % de la varianza de abundancia de peces por zonas, la temperatura explicó 56 % y la salinidad el 54 %. (Fig. 7). Los análisis PERMANOVA y MDS mostraron relación espacial entre las variables ambientales de oxígeno disuelto, salinidad y temperatura con la abundancia de peces entre zonas, observándose un gradiente desde la sección de mayor influencia marina, sitio “Bocana” hasta el sitio con mayor influencia de aguas subterráneas denominado “Río”.

DISCUSIÓN

El número total de especies de peces registradas para el Caribe mexicano es de 577 (Schmitter-Soto et al., 2000; Núñez-Lara et

al., 2005) para la franja arrecifal del Caribe mexicano reportaron 183 especies. En estudios puntuales para el Caribe mexicano se tienen los trabajos de Loreto et al. (2003) realizado en Banco Chinchorro, donde se registraron 163 especies, incluyendo peces crípticos; Núñez-Lara & Arias-González (1998), en Mahahual observaron 134 especies; y Salazar-Murguía et al. (1998) en Tampalam, Boca Paila y Mahahual, reportaron sólo 97, 86 y 71 especies, respectivamente. Mientras que, para Belice, Harborne, A. R., Gill, A. B., Raines, P. S., Ridley, J. M., & Withey, S. C. (1998) registraron 240 especies.

En el presente estudio se observaron 63 especies, lo que representó el 34 % del total de especies reportadas para la franja arrecifal del Caribe mexicano y casi la misma riqueza que la del sitio Boca Paila. El parque de Xel-Há

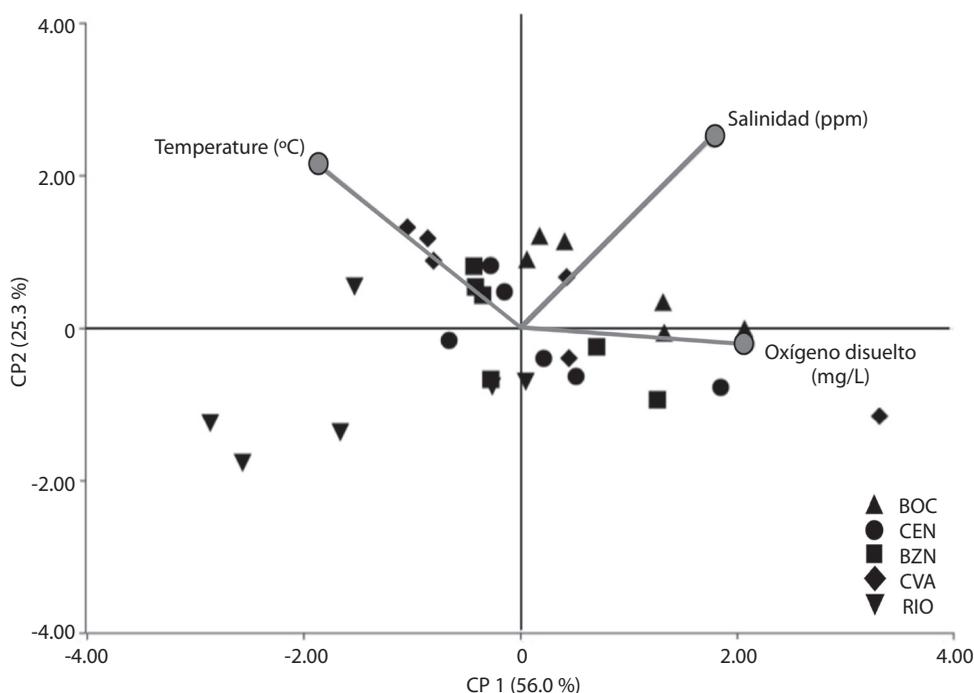


Fig. 7. Análisis de componentes principales, entre zonas y variables fisicoquímicas. CP1 y CP2, representan los dos primeros componentes con la mayor varianza explicada. BOC: Bocana; CEN: Centro; BZN: Brazo Norte; CVA: Cueva y RIO: Río. Los vectores simbolizan las variables fisicoquímicas.

Fig. 7. Principales component analysis, among sites and physicochemical variables. CP 1 and CP 2 represent the two principal components that explain the variation data. BOC: Bocana; CEN: Center; BZN: North Branch; CVA: Cave y RIO: River. Vectors represent physicochemical variables.

presenta una riqueza fíctica alta a pesar de tener una complejidad coralina escasa. Por otra parte, se observó la presencia de peces en estadio juvenil, principalmente de las familias Scariidae, Haemulidae, Labridae, Lutjanidae, Pomacentridae y Acanthuridae, lo que sugiere que el parque de Xel-Há está funcionando como una zona de crianza.

Arceo-Carranza & Vega-Cendaja (2008) en la reserva de Dzilam, Sureste de México, señalan que la diversidad aumenta durante secas, debido a picos reproductivos de algunos peces, y en “nortes” por ser utilizados como zonas de refugio. En este estudio se observó el mayor número de organismos durante la temporada de “nortes” y entre los descriptores comunitarios analizados únicamente la diversidad (H') fue significativamente mayor, observando un aumento de lluvias respecto a secas. Castillo-Rivera, Zárate & Ortiz (2005),

observaron que la abundancia total de peces está determinada principalmente por los procesos de producción del sistema y por la contribución del régimen de precipitación pluvial, ya que ambos interaccionan, propiciando un incremento en la disponibilidad de alimento, lo cual influye en la migración de peces de aguas oceánicas hacia el interior de la laguna. En esta investigación, la variación temporal no influyó en la estructura comunitaria de la ictiofauna, incluso durante los meses de mayor precipitación pluvial o de mayor afluencia de turistas.

Se observó un reemplazo temporal de especies a lo largo del año, y se observaron pocas especies de peces exclusivas para cada temporada. Entre ellas se encuentran *G. funebris* que estuvo presente en lluvias, y *A. taurus* en secas. Según Humann & DeLoach (2002), ambas especies son de hábitos nocturnos y Wootton (1998) mencionó que, de acuerdo a las

necesidades biológicas o ecológicas, las especies utilizan diferentes hábitats en sus ciclos circadiano o anual. Lo anterior podría explicar porqué las especies *G. funebris* y *A. taurus* se observaron sólo ocasionalmente en el estudio. Por otra parte, las especies *E. melanopterus*, *S. spengleri*, *C. urophthalmus*, fueron raramente observadas. Las dos primeras es probable que sean residentes ocasionales que ingresan al parque marino por refugio o alimento. Por otro lado, *C. urophthalmus* es una especie dulceacuícola que habita en aguas del sureste mexicano y tiene una amplia distribución en los cenotes en la franja costera de la península de Yucatán (Gamboa-Pérez & Schmitter-Soto, 1999).

En este trabajo, los análisis multivariados mostraron que las variables ambientales tuvieron efecto en la diversidad y riqueza entre sitios y no entre temporadas, observándose un gradiente de la parte marina al sitio con mayor aporte de agua subterránea. En relación a la variación espacial de los descriptores comunitarios observada en este estudio, el parque de Xel-Há está constituida principalmente por sustrato arenoso, rocas grandes (<2 m³), pequeñas, parches de pastos marinos, algas (13 especies dominantes) y manglares. Esta heterogeneidad del hábitat favorece la colonización de diversas especies de peces. En este sentido, Robert & Ormond (1987); Friedlander & Parrish (1998) y Gust, Choat & McCormick (2001), señalaron que la diversidad del sustrato influyó en la estructuración de las comunidades ícticas al ser áreas de alimentación y refugio. En Xel-Há, la variación basada en el tipo de sustrato fue evidente en relación con la abundancia, riqueza y diversidad en las distintas zonas del parque. “Bocana”, tiene comunicación permanente con el mar, lo que propicia una alta diversidad y abundancia de peces, y promueve el tránsito de muchas especies de peces arrecifales. Lo anterior, coincide con lo reportado por Arceo-Carranza & Vega-Cendejas (2008) para la reserva de Dzilam de Bravo, donde observaron que la zona cercana a la desembocadura del mar presentaba la más alta riqueza de especies. Por otro parte, Salazar-Murguía et al. (1998) señalaron que la abundancia y

diversidad de peces varían de acuerdo a la disponibilidad de refugios. En el estudio el sitio “Centro” presentó juveniles de Haemulidae, Lutjanidae, Labridae y Scaridae, asociados a los arrecifes artificiales y a los parches de pastos marinos presentes en ésta área. Los sitios de “Brazo Norte” y “Cueva”, caracterizados por tener zonas rocosas, gran abundancia de algas y manglares, presentaron una mayor diversidad íctica. Lo mismo fue reportado por Mallela, Roberts, Harrod, & Goldspink, (2007).

En el parque marino de Xel-Há se observó que 34 especies de peces son residentes y permanecen en el sitio durante todo el año utilizan este hábitat como zonas de alimentación, reclutamiento, crianza, refugio y/o protección contra depredadores, mientras que 29 especies son residentes ocasionales. Referido a lo anterior, Nagelkerken, Dorenbosch, Verberk, Cocheret de la Morinière, & Van der Velde, (2000), demostraron que varios grupos de peces no permanecen en el mismo hábitat, sino que utilizan estrategias biológicas para ocupar ciertos hábitats (barreras arrecifales y pastos marinos). Parrish (1989) y Robertson & Blader (1992) señalaron que los peces en estadios intermedios utilizan los manglares antes de moverse al arrecife, debido a la complejidad estructural de estos hábitats que les proveen de alimento y protección contra depredadores. La zona de manglares de este parque se ubica cercana a la barrera arrecifal del Caribe mexicano, por lo que muchas especies de peces arrecifales no residentes ingresan y se desplazan dentro del parque, este flujo continuo de especies que se da a lo largo del año podría influir en la variación temporal de la diversidad. Díaz-Ruiz, Aguirre-León & Arias-González (1998), comparan la diversidad y la comunidad trófica de peces de arrecife y reconocen la interdependencia energética entre hábitats en Cozumel y concluyen que el movimiento migratorio y comportamiento de los peces influye en la variación espacial y temporal de la diversidad, distribución y los patrones de abundancia.

Los resultados de esta investigación permiten concluir que el parque marino de Xel-Há y su zona de manglares, está siendo utilizado

por varias especies de peces como zona de protección, alimentación y crianza. Su alta riqueza con respecto a la del Caribe mexicano permite señalar su importante función para la conservación íctica marina de la región, siendo un ejemplo de ecoturismo sustentable.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto INNOVA-CONACYT Núm. 1837. "Sistemas de Información Geográfica para la Conservación del Patrimonio del Caribe y el Desarrollo Sustentable del Parque Xel-Há. Ricardo Sáenz Morales y Gisela Maldonado Saldaña y Rodolfo Raigoza, por las facilidades prestadas para realizar este estudio. A Rafael Benítez (Xel-Há), Manuel Sánchez Crespo, Mariana Noguez Núñez, Luis Alfonso Ascencio Aguirre, José Francisco Chávez Villegas del laboratorio de Conservación y cultivo de Moluscos del CINVESTAV-IPN, Mérida por su apoyo en el trabajo de campo de este proyecto.

RESUMEN

Xel-Há es un parque ecoturístico marino donde no se permite ningún tipo de extracción de flora o fauna. Una de las principales atracciones turísticas en este parque son los peces de arrecife, no existiendo trabajos publicados sobre la comunidad íctica para este sitio. En este estudio se analizó la variación espacio-temporal de la comunidad íctica en diferentes zonas del parque marino Xel-Há. Para ello, se realizaron censos visuales durante un año en 21 transectos fijos de 100x5 m, distribuidos en cinco zonas del parque: "Bocana", "Centro", "Brazo Norte", "Cueva" y "Río", que incluyen la bocana del mar, canales de manglares y un sitio con aportes de agua dulce. Para caracterizar la comunidad de peces, se estimaron los descriptores ecológicos: riqueza de especies, diversidad, abundancia y densidad a partir del promedio de los censos y se compararon entre zonas y tres temporadas (lluvias, "nortes" y secas). El grado de similitud entre zonas y temporadas se evaluó mediante un análisis de escalamiento multidimensional no métrico. El reemplazo en la composición de especies entre temporadas fue determinado con la presencia-ausencia de peces. Además, se aplicó un análisis de componentes principales para evaluar si las variables fisicoquímicas como temperatura, salinidad y concentración de oxígeno disuelto influyen en la variación de las comunidades de peces. Se registró un total de 22 641 individuos que correspondieron a 63 especies, siendo "nortes", la temporada donde se presentó la mayor abundancia (7 991 organismos). Las especies mejor

representadas basados en su abundancia total y frecuencia de aparición fueron: *Haemulon sciurus*, *H. flavolineatum*, *Lutjanus griseus*, *Acanthurus coeruleus*, *Abudefduf saxatilis* y *Gerres cinereus*. La diversidad incrementó de lluvias a secas y comparando entre zonas la riqueza de especies y diversidad fue menor en "Río". Entre temporadas, el 54 % de las especies fueron residentes durante todo el año; se observaron cuatro especies exclusivas para lluvias y tres para secas. La diversidad fue el único descriptor que permitió observar variación entre temporadas. El oxígeno disuelto fue la variable que más influyó en la variación de la comunidad de peces entre zonas. El parque Xel-Há, alberga cerca del 20 % de la biodiversidad de peces reportada para el Caribe mexicano y la predominancia de juveniles de varias especies confirma su importancia como sitio de crianza.

Palabras clave: ictiofauna; estructura comunitaria; conservación; ecoturismo; Caribe mexicano.

REFERENCIAS

- Ackerman, J. L., & Bellwood, D. R. (2000). Reef fish assemblages: a re-evaluation using enclosed rotenone stations. *Marine Ecology Progress Series*, 206, 227-237.
- Aldana-Aranda, D., Sánchez-Crespo, M., Reynaga-Álvarez, P., Patiño-Suárez, V., George-Zamora, A. & Baqueiro-Cárdenas, E. R. (2005). Crecimiento y temporada reproductiva del caracol rosa *Strombus gigas* en el parque Xel-Há, México. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 56,741-754.
- Anderson, M. J., Gorley, R. N., & Clarke, K. R. 2008. *PERMANOVA+ for PRIMER Guide of software and statistical methods PRIMER-E*. Plymouth: Natural Environment Research Council, Plymouth Marine Laboratory.
- Arceo-Carranza, D., & Vega-Cendejas, M. E. (2008). Spatial and temporal characterization of fish assemblages in a tropical coastal system influenced by freshwater inputs: north western Yucatan peninsula. *Revista de Biología Tropical*, 57(1-2), 89-103.
- Bortone, S. A., Samoilys, M. A., & Francour, P. (2000). Fish and macro-invertebrate evaluation methods. In W. Jr. Seaman (Ed.), *Artificial reef evaluation; with application to natural marine habitats* (pp. 127-164). Florida: C. R. C. Press.
- Castillo-Rivera, M., Zárate, R., & Ortiz, S. (2005). Variación nictimeral y estacional de la abundancia, riqueza y especies dominantes de peces, en un ambiente salobre de sustrato blando. *Hidrobiológica*, 15(2), 227-238.
- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). *Change in marine communities: an approach to statistical analysis*

- and interpretation. Plymouth: Natural Environment Research Council, Plymouth Marine Laboratory.
- Cobián, R. D., Claro, M. R., Chevalier, M. P. P., Perera, V. S., & Caballero, A. H. (2011). Estructura de las asociaciones de peces en los arrecifes coralinos del parque nacional Guanahacabibes, Cuba. *Revista de Ciencias Marinas y Costeras*, 3, 153-169.
- Córdova, L. A. L., Sagahón, V. R., & Santaolaya, L. W. (Eds.). (2007). *Xel-Há 13 años de desarrollo sustentable, balance social y académico*. Recuperado de <http://www.xelharse.com>
- Díaz-Ruiz, S., Aguirre-León, A. & Arias-González, J. E. (1998). Habitat interdependence in coral reef ecosystems: a case study in a Mexican Caribbean reef. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 1, 387-397.
- Eschmeyer, W. N. (1998). *Catalog of fishes*. San Francisco: California Academy of Sciences.
- Friedlander, A. M., & Parrish, J. D. (1998). Habitat characteristics affecting fish assemblages on a Hawaiian coral reef. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 224, 1-30.
- Gamboa-Pérez, H. C., & Schmitter-Soto, J. J. (1999). Distribution of cichlid fishes in the littoral of Lake Bacalar, Yucatan Peninsula. *Environmental Biology of Fishes*, 54, 35-43.
- García de León, L. A. (1988). *Generalidades del análisis de cúmulos y análisis de componentes principales*. México: Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gust, N., Choat, J. H., & McCormick, M. I. (2001). Spatial variability in reef fish distribution, abundance, size and biomass: a multi scale analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 214, 237-251.
- Gutiérrez-Castro, A., Torruco-Gómez, D., Fraga-Berdugo, J., Cabrera-Vázquez, M. A., & González-Solis, A. (2008). El Garrafón: un arrecife de El Caribe mexicano. *Avances y perspectiva*, 1(2), 93-99.
- Harborne, A. R., Gill, A. B., Raines, P. S., Ridley, J. M., & Withey, S. C. (1998). Annotated species lists for coral reef fish throughout Belize (Central America): the current status. *Journal of Fish Biology*, 53(A): 435.
- Humann, P., & Deloach, N. (2002). *Reef fish identification. Florida, Caribbean, Bahamas* (3rd Ed.). Jacksonville, Florida: New World Publications, Inc.
- Kingsford, M. J. (2000). Reef fishes. In M. J. Kingsford, & C. N. Battershill (Eds.), *Studying temperate marine environments. A handbook for ecologists* (pp. 132-166). Chist Church: Canterbury University Press & C. R. C. Press.
- Loreto, R. M., Lara, M., & Schmitter-Soto, J. J. (2003). Coral reef fish assemblages at Banco Chinchorro Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science*, 73(1), 152-170.
- Mallela, J., Roberts, C., Harrod, C., & Goldspink, C. R. (2007). Distributional patterns and community structure of Caribbean coral reef fishes within a river-impacted bay. *Journal of Fish Biology*, 70, 523-537.
- Nagelkerken, I., Dorenbosch, M., Verberk, W. C. E. P., Cocheret de la Morinière, E., & Van der Velde, G. (2000). Importance of shallow-water biotopes of a Caribbean bay for juvenile coral reef fishes: patterns in biotope association, community structure and spatial distribution. *Marine Ecology Progress Series*, 202, 175-192.
- Nelson, J. S. (2006). *Fishes of the world*. New Jersey, U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc. Hoboken.
- Norman, M. D., & Jones, G. P. (1984). Determinants of territory size in the Pomacentrid reef fish, *Parma victoriae*. *Oecologia*, 61, 60-69.
- Núñez-Lara, E., & Arias-González, J. E. (1998). The relationship between reef fish community structure and environmental variables in the southern Mexican Caribbean. *Journal of Fish Biology*, 53, 209-221.
- Núñez-Lara, E., Arias-González, J. E., & Legendre, P. (2005). Spatial patterns of Yucatán reef fish communities: Testing models using a multi-scale survey design. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 324, 157-169.
- Parrish, J. D. (1989). Fish communities of interacting shallow water habitats in tropical oceanic regions. *Marine Ecology Progress Series*, 58, 143-160.
- Peel, J. R., Sáenz, R., May, E., Montero-Muñoz, J., & Aldana-Aranda, D. (2010). Importancia de un área natural protegido en el Caribe Mexicano en la conservación y manejo de una especie, amenazada, el caracol Rosa, *Strombus gigas*. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 63, 447-456.
- Robert, C. M., & Ormond, R. F. G. (1987). Habitat complexity and coral reef fish diversity and abundance on Red Sea fringing reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 41, 1-8.
- Robertson, A. I., & Blaber, S. J. M. (1992). Plankton, epibenthos and fish communities. In A. I. Robertson, & D. M. Alongi (Eds.), *Tropical mangrove ecosystems* (pp. 173-224). Washington DC: American Geophysical Union.
- Salazar-Murguía, R., González-Salas, C. F., & Arias-González, J. E. (1998). Efecto de un área semi-protegida y no protegida del sur del Caribe Mexicano sobre la estructura comunitaria de peces arrecifales. *Proceedings Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 50, 354-371.

- Sale, P. F. (1991). Reef fish communities: open non-equilibrial system. In P. F. Sale (Ed.), *The ecology of fish on coral reefs* (pp. 564-598). San Diego: Academic Press.
- Secretaría Agricultura y Recursos Hidráulicos (1989). *Datos climatológicos del Norte de Yucatán*. (Reporte Anual) México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Schmitter-Soto, J. J., Vázquez-Yeomans, L., Aguilar-Pera, A., Curiel-Mondragón, C. & Caballero-Vázquez, J. A. (2000). Lista de peces marinos del Caribe mexicano. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología*, 71(2), 143-177.
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1969). *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research*. San Francisco: W. H. Freeman and Co.
- Wootton, R. J. (1998). *Ecology of Teleost Fishes*. New York: Chapman & Hall.
- Whittaker, R. H. (1970). *Communities and ecosystems*. New York: Macmillan.

