



Macrocrustáceos incrustantes en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: biodiversidad, abundancia y distribución

Encrusting macrocrustaceans in the Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: bioiversity, abundance and distribution

Ignacio Winfield^{1*}, Sergio Cházaro-Olvera¹, Guillermo Horta-Puga², Miguel Ángel Lozano-Aburto³ y Virgilio Arenas-Fuentes³

¹Laboratorio de Crustáceos, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, 54090 Tlalnepantla, Estado de México, México.

²Laboratorio de Biogeoquímica, UBIPRO, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. de los Barrios 1, Los Reyes Iztacala, 54090 Tlalnepantla, Estado de México. México.

³Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana Calle Hidalgo 617, Río Jamapa, 94290 Boca del Río, Veracruz, México.

*Correspondencia: ignacioc@servidor.unam.mx

Resumen. Se analizaron la biodiversidad y los patrones de abundancia y distribución de los macrocrustáceos incrustantes, así como los registros nuevos y las ampliaciones de su ámbito geográfico. Fueron geoposicionados 6 sitios de muestreo en el parque arrecifal tomando en consideración la distancia de la costa, la geomorfología del ambiente arrecifal y la influencia de los contaminantes. En cada sitio se fijó una estructura de PVC con 6 placas artificiales entre los 8 y los 10 m de profundidad para la recolección de los macrocrustáceos incrustantes. Fueron identificados 8 161 organismos pertenecientes a 5 órdenes, 19 familias y 26 especies. De acuerdo con los valores de abundancia específica, dominaron el balano *Amphibalanus amphitrite*, seguido del tanaidáceo *Leptochelia forrestii* y los anfípodos *Ampithoe ramondi*, *Ampithoe* sp. y *Ericthonius brasiliensis*. En este estudio se reconocieron 3 registros nuevos y 7 ampliaciones del ámbito geográfico. Finalmente, se comprobó la presencia de 2 grupos de macrocrustáceos, uno ubicado en el grupo norte y otro en el grupo sur del sistema arrecifal.

Palabras clave: balanos, peracaridos, decápodos, ambiente arrecifal, suroeste del golfo de México.

Abstract. The biodiversity of encrusting macrocrustacean, abundance and spatial distribution patterns, as well as new records and range extensions were analyzed. Six sites were positioned in the reef park considering distance to the coast, the geomorphology of the reef environment and the influence of pollutants. At each site a PVC structure was placed with 6 artificial plates at a 8-10 m depth to collect the encrusting macrocrustaceans. A total of 8 161 organisms was collected that belong to 5 orders, 19 families and 26 species. The most abundant species was the cirriped *Amphibalanus amphitrite*, followed by the tanaidáceo *Leptochelia forrestii* and the amphipods *Ampithoe ramondi*, *Ampithoe* sp., and *Ericthonius brasiliensis*. Three new records and 7 range extensions were found in this study. Finally, the presence of 2 different groups of macrocrustaceans was detected, one in the southern part and another in the northern portion of the reef system.

Key words: barnacles, peracarids, decapods, coral reef, southwestern Gulf of Mexico.

Introducción

Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas con mayor biodiversidad y complejidad arquitectónica en el océano costero, tanto trófica como estructuralmente; son estables, con una resiliencia multifactorial y pausada, pero frágiles a las perturbaciones climatológicas e impactos antropogénicos (Jordán-Dahlgren, 2004).

En estos ambientes costeros habitan numerosos organismos en diferentes sustratos, entre los cuales

están los crustáceos, que representan uno de los grupos de invertebrados con mayor riqueza de especies y densidad por metro cuadrado. Habitan en macroalgas, pedacera de coral, como fauna críptica, entre cabezas coralinos, asociados a esponjas, cnidarios, equinodermos y moluscos, así como en sustratos suaves intra-arrecifales (Winfield y Escobar-Briones, 2007a). La importancia de estos organismos se fundamenta en la dominancia dentro de la estructura comunitaria, en la bioturbación y la estabilización sedimentaria, en la transmisión de parásitos y como recurso pesquero y alimenticio para muchas especies (Brusca y Brusca, 2003; Winfield y Ortiz, 2003;

Recibido: 10 noviembre 2009; aceptado: 26 abril 2010

Okolodkov et al., 2007).

Se ha documentado en estos ecosistemas el uso eficiente de placas artificiales sumergidas para analizar de manera significativa la biodiversidad de las especies incrustantes, la estructura comunitaria, los patrones de variación espacio-temporal y el impacto de la contaminación orgánica e inorgánica, evitando al máximo los deterioros ocasionados por el efecto del muestreo (Kerr et al., 2003; Yan y Xia Yan, 2003; Brown, 2005). Dentro de esta fauna pionera (*biofoulers*), los crustáceos (p. ej., balanos, anfípodos, isópodos y decápodos) constituyen un componente importante en el proceso de colonización marina (*marine biofouling*) con fines de fijación, protección, alimentación y reproducción (Winfield et al., 2007b).

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) es un ecosistema formado por más de 20 bancos arrecifales con grados diferentes en el desarrollo y acreción. Después del Caribe mexicano, esta área natural protegida constituye el segundo complejo arrecifal más importante en la zona económica exclusiva del territorio nacional, entre otros aspectos, porque establece el límite suroccidental de la subprovincia del Caribe (Veron, 1995), es un centro de dispersión y conectividad inter-arrecifal en el Mar Intra-Americano (golfo de México y mar Caribe; Jordán-Dahlgren, 2004). Potencialmente es un ecosistema con una biodiversidad alta de invertebrados, un hábitat viable como área de endemismo y un reservorio eficaz para el depósito de contaminantes (Carrera-Parra y Vargas-Hernández, 1996; Winfield et al., 2007b; Horta-Puga et al., 2009). Por su cercanía a la costa, al puerto de Veracruz y al poblado de Antón Lizardo, este parque ha sufrido impactos severos; la actividad humana, la industrial y el acarreo de sedimentos de los ríos Jamapa, Papaloapan y La Antigua han ocasionado en conjunto una perturbación y el incremento de los metales pesados, hidrocarburos y coliformes fecales (Tunnell, 1992; Horta-Puga y Carricart-Ganivet, 1993).

Los estudios enfocados al análisis de los macrocrustáceos incrustantes en placas artificiales sumergidas en el sistema arrecifal veracruzano son escasos. Winfield et al. (2007b) analizaron la taxocenosis de los crustáceos incrustantes y la influencia de las aguas residuales en los arrecifes Hornos, Pájaros y Blanca durante mayo y junio del 2006, e identificaron 33 especies con una dominancia numérica de balanos, anfípodos e isópodos, así como diferencias significativas entre los componentes bióticos y los sitios de muestreo. Asimismo, algunas especies de estos crustáceos exhibieron una gran adaptabilidad a las condiciones de estrés y otras presentaron cambios morfológicos importantes en los gnatópodos, el tamaño corporal y la pigmentación.

El presente estudio constituye la segunda fase del

proyecto de investigación “Macrocrustáceos incrustantes y el impacto espacio-temporal de la contaminación por metales pesados: un estudio integral en el PNSAV”, desarrollado del 2006 al 2008. La primera fase (2006) incluyó el estudio preliminar mencionado entre las aguas residuales y los crustáceos incrustantes (Winfield et al., 2007b). En esta segunda etapa (2007), se estimó la riqueza de especies, su importancia relativa, y los patrones de abundancia y distribución. Un tercer estudio incluye el análisis del impacto de metales pesados (plomo, cadmio y cobre) sobre los patrones de distribución y abundancia de estos macrocrustáceos incrustantes en el PNSAV.

Materiales y métodos

Área de estudio. El PNSAV se ubica en la plataforma continental del estado de Veracruz, dentro del sector noroeste de la bahía de Campeche, en el polígono delimitado por los 19°00'00" y 19°16'00" N y los 95°45'00" y 96°12'00" O. Este parque consta de una estructura compleja formada por más de 20 bancos arrecifales con grados distintos de desarrollo, que en conjunto cubren una superficie aproximada de 52 000 ha. Se encuentra dividido en 2 grandes sectores separados por un área de fondos suaves establecida por la desembocadura del río Jamapa. El sector norte, ubicado frente al puerto de Veracruz, representa casi una tercera parte del parque e incluye 10 arrecifes; el sector sur, localizado frente al poblado de Antón Lizardo, incluye la extensión mayor del sistema con 12 arrecifes (Fig. 1).

El complejo arrecifal está formado por bajos, islas y arrecifes situados en la porción interna de la plataforma continental que se elevan desde profundidades cercanas a los 40 m. Está construido en un banco de restos bioclásticos calcáreos de materiales coralinos pertenecientes al Pleistoceno reciente, producto del descenso en el nivel del mar en la última glaciación (Emery, 1963).

Los arrecifes del PNSAV se han descrito como de tipo plataforma, con 2 formas de desarrollo: una alargada en sentido noroeste-sureste, y otra en semicírculo con la misma orientación. Se caracterizan por tener pendientes en barlovento y en sotavento, con un desarrollo arrecifal notable. Cada arrecife difiere en complejidad geomorfológica, cantidad de CaCO₃, riqueza de especies y cobertura viva (Lara et al., 1992; Horta-Puga et al., 2009).

Este parque se caracteriza por un clima cálido-húmedo con una diferenciación tropical-subtropical y 2 temporadas climatológicas: la de nortes, de septiembre a abril-mayo con precipitación menor, temperaturas bajas y frecuentes invasiones de masas de aire frío del norte y la temporada de lluvias, de junio-julio a septiembre-octubre



Figura 1. Toponimia del PNSAV donde se incluyen los arrecifes coralinos en el sector norte y el sur.

Cuadro 1. Localización geográfica y profundidad de los sitios de muestreo en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

Sitio (arrecife)	Profundidad (m)	Posición (N)	Posición (O)
Galleguilla	9	19°13'56.5"	96°07'31.9"
Blanquilla	9	19°13'32.9"	96°05'53.0"
Isla Verde	10	19°12'00.0"	96°04'04.4"
Blanca	8	19°05'26.4"	96°00'01.6"
Isla de Enmedio	10	19°06'00.8"	95°56'21.1"
Anegada de Afuera	10	19°10'03.8"	95°52'21.4"

con temperaturas elevadas, precipitación alta y vientos débiles del este. Durante las últimas décadas han ocurrido cambios en el inicio y la duración de cada una.

Trabajo de campo. Se establecieron 6 sitios de muestreo en el PNSAV con base en la geomorfología, la distancia de la costa y la influencia antropogénica: Galleguilla, Blanquilla e isla Verde en el sector norte; Blanca, isla de Enmedio y Anegada de Afuera en el sector sur (Cuadro 1).

El programa de muestreo incluyó 3 salidas realizadas

en mayo, principios de agosto y finales de octubre del 2007. En la primera se fijaron las estructuras sumergibles, dejando 2 meses para la colonización del *biofilm* y los *biofoulers*, éstos últimos recolectados en agosto (inicio de lluvias) y octubre (fin de lluvias). En cada sitio se sumergió un soporte de concreto/PVC de 2 m de alto por 1.5 m de ancho para sujetar las placas artificiales de polietileno en posición vertical (Fig. 2). En cada estructura se fijaron 6 placas de 30 × 30 cm a 9 - 11 m de profundidad; en cada salida fueron recuperadas 2 placas para el análisis

de los macrocrustáceos incrustantes. La recuperación fue manual, con equipo de buceo autónomo y herramienta sumergible; cada placa se depositó dentro de una bolsa de plástico en una cubeta con agua marina para evitar la desecación de los organismos. En tierra, se rasparon con una espátula para separar y organizar a los organismos en grandes grupos en frascos con alcohol etílico al 75% para su conservación.

Trabajo de laboratorio. En el Laboratorio de Crustáceos (FES-Iztacala-UNAM), los macrocrustáceos incrustantes fueron separados e identificados hasta el nivel específico con ayuda de microscopios estereoscópicos y ópticos, y de acuerdo a las claves de Barnard y Karaman (1991), LeCroy (2000, 2002, 2004, 2007), Ortiz et al. (2004) y Winfield et al. (2007c) para anfípodos; Kensley y Schotte (1989) para isópodos; Suárez-Morales et al. (2004) para tanaidáceos; Chace (1992) para decápodos y Celis y Álvarez (2009) para cirripedios. Los organismos que estaban incompletos se identificaron al nivel más bajo posible. Todos los ejemplares identificados fueron depositados en la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR), del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, con un duplicado réplica en el Laboratorio de Crustáceos de la FES-Iztacala.

En cada sitio de muestreo se cuantificó la riqueza específica como el número de especies (s), así como



Figuras 2 y 3. Fijación de las estructuras artificiales sumergibles para la recolección de los macrocrustáceos incrustantes y una de las placas artificiales recuperadas con los macrocrustáceos incrustantes.

la abundancia (N) de cada especie fue estandarizada como densidad o individuos por metro cuadrado (n , $\text{ind}\cdot\text{m}^{-2}$). Con la matriz de datos de abundancia, densidad y riqueza específica se evaluó la existencia de posibles agrupamientos entre los sitios de muestreo utilizando el índice de similitud Bray-Curtis. Este índice ignora los casos de especies ausentes en algunas intersecciones de la matriz o una asociación dominada por pocas especies muy abundantes. Así, las especies raras adicionan muy poco al valor del coeficiente (Krebs, 1989). También se utilizó la prueba de Olmstead y Tükey (Sokal y Rohlf, 1988) para obtener la dominancia/importancia relativa de las especies que se recolectaron, fundamentada en la frecuencia de su presencia y la densidad de cada especie, con el propósito de caracterizarlas como dominantes, estacionales-indicadoras, comunes y raras. Finalmente, y con base en la información documentada para cada especie identificada, se determinaron los posibles registros nuevos y las ampliaciones del ámbito geográfico.

Resultados

Se obtuvo un total de 8 161 organismos de macrocrustáceos incrustantes en el PNSAV, agrupados en 5 órdenes, 19 familias y 26 especies (Cuadro 2).

Patrones de abundancia y distribución. De las 26 especies reconocidas en este estudio, el balano *Amphibalanus amphitrite* se diferenció por el mayor valor de abundancia (6085 individuos, 74.6%), seguido del tanaidáceo *Leptochelia forrestii* (1 840 individuos, 22.5%), y de los anfípodos *Ampithoe ramondi* (86 individuos, 1.1%) y *Erichthonius brasiliensis* (60 individuos, 0.1%); las 22 especies restantes representaron el 1.7% de la riqueza específica total (Cuadro 2). El sector norte presentó un mayor número de especies: 12 en agosto y 15 en octubre, a diferencia del sector sur con 5 especies en agosto y 9 en octubre del 2007 (Cuadro 2).

Inicio de lluvias. Durante el muestreo previo a la época de lluvias (principios de agosto), el sector norte se caracterizó por una mayor densidad de individuos ($729\text{ n}\cdot\text{m}^{-2}$) y riqueza específica (12 especies); en comparación con el sector sur ($51\text{ n}\cdot\text{m}^{-2}$, 5 especies) (Cuadro 3). El patrón general de dominancia incluyó nuevamente para ambos sectores al balano *Amphibalanus amphitrite* con la densidad mayor, disminuyendo para *Ampithoe* sp. y *Ampithoe ramondi* (Cuadro 3).

Galleguilla presentó la mayor densidad en el sector norte con $717\text{ n}\cdot\text{m}^{-2}$ y 10 especies, en comparación con el sector sur, donde el arrecife Blanca fue el de mayor densidad con $42\text{ n}\cdot\text{m}^{-2}$ y 3 especies (Cuadro 3). Los siguientes sitios de

Cuadro 2. Abundancia (N) y riqueza de especies de los macrocrustáceos incrustantes en las 2 épocas de recolección y sectores del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano; SN (sector norte), SS (sector sur)

Orden	Familia	Especies	Agosto		Octubre		Total	
			SN	SS	SN	SS		
Sessilia Amphipoda	Balanidae	<i>Amphibalanus amphitrite</i>	205	6	5 870	4	6 085	
	Ampithoidae	<i>Ampithoe ramondi</i>	3		79	4	86	
		<i>Ampithoe</i> sp.	2	5		5	12	
	Colomastigidae	<i>Colomastix ircinae</i>	2				2	
	Corophiidae	<i>Apocorophium simile</i>			1	12	13	
		<i>Corophium</i> sp.	1				1	
	Ischyroceridae	<i>Erichthonius brasiliensis</i>	1		59		60	
	Leucothoidae	<i>Leucothoe</i> sp.	1				1	
	Lysianassidae	<i>Lysianopsis alba</i>			1	6	7	
		<i>Concarnes concavus</i>				8	8	
	Melitidae	<i>Elasmopus</i> sp.				1	1	
	Photidae	<i>Photis pugnator</i>			1	6	7	
	Podoceridae	<i>Podocerus brasiliensis</i>	1				1	
	Stenothoidae	<i>Stenothoe</i> sp.				4	4	
	Isopoda	Stenetriidae	<i>Hansenium stebbingi</i>			1	1	
	Tanaidacea	Leptocheiliidae	<i>Leptocheilia forresti</i>		2	1 838		1 840
		Tanaidae	<i>Tanais</i> sp.		1			1
Decapoda	Alpheidae	<i>Sinelobus stanfordfi</i>	1				1	
		<i>Zeuxo kurilensis</i>	1				1	
		<i>Synalpheus rathbunae</i>				8	8	
	Hippolytidae	<i>Synalpheus towsendi</i>				4	4	
		<i>Lautretes fucorum</i>		2			2	
		<i>Mithraculus cinctimanus</i>			5		5	
Mithracidae	<i>Mithraculus sculptus</i>				2	2		
Palaemonidae	<i>Periclimenes</i> sp.	1		1		2		
Pilumnidae	<i>Pilumnus gemmatus</i>	1		4		5		
Majidae	larva				1	1		
Riqueza de especies			12	5	15	9	26	
Total			220	16	7 875	50	8 161	

Cuadro 3. Densidad (n·m⁻²) y riqueza de especies de los macrocrustáceos incrustantes en cada sitio de muestreo durante agosto del 2007 en el PNSAV

	Galleguilla	Blanquilla	Isla Verde	Blanca	Isla de Enmedio	Anegada de Afuera
<i>Amphibalanus amphitrite</i>	683			20		
<i>Ampithoe ramondi</i>	10					
<i>Ampithoe</i> sp.	3	3		16		
<i>Corophium</i> sp.	3					
<i>Colomastix ircinae</i>			6			
<i>Erichthonius brasiliensis</i>	3					
<i>Leucothoe</i> sp.	3					
<i>Leptocheilia forresti</i>					6	
<i>Podocerus brasiliensis</i>	3					
<i>Tanais</i> sp.						3
<i>Zeuxo kurilensis</i>			3			
<i>Lautretes fucorum</i>				6		
<i>Periclimenes</i> sp.	3					
<i>Pilumnus gemmatus</i>	3					
<i>Sinelobus stanfordfi</i>	3					
Totales	717	3	9	42	6	3
Riqueza específica	10	1	2	3	1	1

Cuadro 4. Densidad ($n \cdot m^{-2}$) y riqueza de especies de los macrocrustáceos incrustantes en cada sitio de muestreo durante octubre del 2007 en el PNSAV

	Galleguilla	Blanquilla	Isla Verde	Blanca	Isla de Enmedio	Anegada de Afuera
<i>Amphibalanus amphitrite</i>	9 050	3 084	7 090	13		
<i>Ampithoe ramondi</i>	97	66	20	13		
<i>Ampithoe</i> sp.				6	6	3
<i>Apocorophium simile</i>	3			13	13	13
<i>Erichthonius brasiliensis</i>	87	87	3			
<i>Concarnes concavus</i>				6	6	13
<i>Lysianopsis alba</i>	3			6	6	6
<i>Elasmopus</i> sp.					3	
<i>Photis pugnator</i>	3			6	6	6
<i>Stenothoe</i> sp.				3	3	6
<i>Leptochelia forresti</i>	2 705	1 820	1 400			
<i>Hansenium stebbingi</i>	3					
Larva Majidae			3			
<i>Mithraculus cinctimanus</i>	3	3	10			
<i>Mithraculus sculptus</i>	3	3				
<i>Periclimenes</i> sp.			3			
<i>Pilumnus gemmatus</i>	3	3	7			
<i>Synalpheus rathbunae</i>	23	3				
<i>Synalpheus towsendi</i>			13			
Total	11 983	5 069	8 549	66	43	47
Riqueza específica	12	8	9	8	7	6

muestreo en ambos sectores presentaron valores menores de riqueza de especies y densidad.

Fin de lluvias. Después de las lluvias (finales de octubre), el sector norte se caracterizó por una mayor densidad de individuos ($25\,601\ n \cdot m^{-2}$) y riqueza específica (14 especies) en comparación con el sector sur ($156\ n \cdot m^{-2}$, 9 especies) (Cuadro 4). El patrón general de dominancia por especie para el sector norte mostró con la mayor densidad al balano *Amphibalanus amphitrite*, disminuyendo para el tanaidaceo *Leptochelia forresti* y los anfípodos *Ampithoe ramondi* y *Erichthonius brasiliensis* (Cuadro 4). Para el sector sur no existió una dominancia evidente de algún macrocrustáceo en esta época, concentrándose la riqueza de especies en el grupo de los anfípodos incrustantes. Galleguilla y Blanca presentaron los valores mayores en densidad ($11\,983$ y $66\ n \cdot m^{-2}$, respectivamente) y riqueza de especies (12 y 8, respectivamente) (Cuadro 4).

Importancia relativa de las especies de macrocrustáceos incrustantes. Dentro de los macrocrustáceos incrustantes del PNSAV, la especie caracterizada como dominante fue *Amphibalanus amphitrite*, a diferencia de *Leptochelia forresti*, determinada como ocasional. Las especies *Erichthonius brasiliensis*, *Ampithoe ramondi*, *Ampithoe*

sp., *Pilumnus gemmatus* y *Periclimenes* sp., fueron caracterizadas como estacionales y como raras: *Mithraculus cinctimanus*, *Synalpheus rathbunae*, *Synalpheus towsendi*, *Colomastix ircinae*, *Concarnes concavus*, *Lautretes fucorum*, *Apocorophium simile*, *Corophium* sp., *Elasmopus* sp., *Stenetrium stebbingi*, *Leucothoe* sp., *Lysianopsis alba*, *Mithraculus sculptus*, *Photis pugnator*, *Podocerus brasiliensis*, *Sinelobus stanfordi*, *Stenothoe* sp., *Tanais* sp. y *Zeuxo kurilensis*.

Registros nuevos para el golfo de México

Orden Isopoda

1. *Hansenium stebbingi*. Especie epibentónica que habita entre 0.5 a 50 m de profundidad. Distribución: se ha registrado para las Bermudas, Cayos de la Florida, Bahamas, Islas Turks y Caicos, Cuba, Jamaica, Islas Vírgenes y Belice. Su recolección representa un registro nuevo para el golfo de México.

Orden Tanaidacea

2. *Sinelobus stanfordi*. Especie característica de fondos suaves, plancton marino, algas, asociada a diferentes invertebrados en profundidades someras. Distribución: se ha registrado para las costas del Atlántico de Norteamérica, Suramérica y el mar Caribe, incluyendo el Caribe mexicano, particularmente aquéllas de Quintana Roo. La recolección de esta especie representa un

registro nuevo para el golfo de México.

3. *Zeuxo kurilensis*. Especie que habita en ambientes someros, raíz de mangle, asociado a invertebrados y plancton. Distribución: se ha registrado en la zona transicional entre el trópico y el Antártico, con una distribución amplia en el cinturón tropical mundial. En el Caribe mexicano se distribuye en las costas de Quintana Roo. Esta recolección representa un registro nuevo para el golfo de México.

Ampliaciones en el ámbito geográfico dentro del golfo de México hasta el sector sureste. Orden Amphipoda: 1, *Apocorophium simile*; 2, *Colomastix irciniae*; 3, *Concarnes concavus*; 4, *Lysianopsis alba*; 5, *Photis pugnator*. Orden Decapoda: 6, *Pilumnus gemmatus*; 7, *Synalpheus rathbunae*.

Discusión

Composición de especies. En arrecifes de coral, los programas de monitoreo empleados incluyen algunas dificultades asociadas a los métodos de muestreo y recolección de los organismos, por el potencial impacto que se puede dar sobre estos ecosistemas. De forma alternativa se han propuesto muestreos que utilizan sustratos sumergidos para determinar la riqueza de especies, los patrones de distribución y abundancia.

En el presente estudio, los macrocrustáceos incrustantes representaron un componente importante en los sustratos sumergidos durante el proceso de colonización en el PNSAV. Esta carcinofauna incluyó 3 registros nuevos para el golfo de México, 1 isópodo y 2 tanaidáceos, así como 7 ampliaciones del ámbito geográfico en el golfo de México, incluyendo el PNSAV de 5 anfípodos y 2 decápodos.

Patrones de abundancia. La importancia de los macrocrustáceos dentro de los sistemas arrecifales se documenta con base en la riqueza de especies, la abundancia-densidad por metro cuadrado, la función dentro de la estructura comunitaria y el posicionamiento en las redes tróficas (Thomas, 1993). Asimismo, se ha demostrado la incorporación secuencial en la colonización de algunos invertebrados incrustantes con base en la dinámica y geomorfología del área, incluyendo desde la película de biomoléculas hasta el incrustamiento de larvas/juveniles de estos invertebrados (Kerr et al., 2003; Yan y Xia Yan, 2003; Brown, 2005). En este estudio se cuantificó un total de 8 161 crustáceos asociados a las placas artificiales sumergidas, con una dominancia en la riqueza específica del orden Amphipoda con 13 especies, seguido por Decapoda con 7, Tanaidacea con 4, e Isopoda

y Sessilia con 1 cada uno.

El orden Amphipoda constituye un grupo de crustáceos importantes en los sistemas arrecifales, principalmente en la Gran Barrera Arrecifal de Australia (Lowry y Meyers, 2009), en los arrecifes de la Florida y cayos adyacentes (Thomas, 1993; LeCroy, 1995, 2000, 2002, 2004, 2007) y en el Caribe mexicano (Winfield y Escobar-Briones, 2007). Su presencia en los arrecifes de coral se puede interpretar como una respuesta a la heterogeneidad ambiental, presencia de una gran cantidad de microhábitats en el ambiente (restos de coral, coral vivo, pastos marinos, fondos suaves) y a las asociaciones simbióticas que establecen con otros organismos (esponjas, anémonas, moluscos, equinodermos, corales), en particular como una estrategia evolutiva de éstos para sobrevivir y colonizar con éxito este ambiente.

Es importante subrayar que varias especies de las familias Ischyroceridae, Amphitoidae, Photidae y Corophiidae son organismos tubícolas con alimentación basada en detritus, microalgas y partículas disueltas –fragmentadas en el ambiente marino, además de ser especies hiperbentónicas; es decir, organismos bentónicos que pueden realizar incursiones en la columna de agua con fines reproductivos y de alimentación en periodos cortos del día y/o noche (LeCroy, 2002, 2004, 2007; Winfield y Ortiz, 2003; Winfield et al., 2006; LeCroy et al., 2009), facilitando el incrustamiento en sustratos diferentes, hechos consistentes con los anfípodos colonizadores del PNSAV.

En esta investigación, el número de especies fue menor al documentado por Winfield et al. (2007b), quien cuantifica 33 especies de macrocrustáceos incrustantes: 28 especies de anfípodos, 12 isópodos, 2 tanaidáceos y 1 cumáceo. Esta diferencia en el número de especies y en la composición de órdenes de crustáceos puede atribuirse a la diferente cobertura de muestreo en el parque arrecifal, a los sitios geoposicionados, al material utilizado en las placas (barro vs poliuretano) y a los tiempos considerados entre muestreo y muestreo. No obstante, entre ambos trabajos hay 51 especies distribuidas en los órdenes Sessilia, con 2; Stomatopoda, con 1; Amphipoda, con 26; Isopoda, con 5; Tanaidacea, con 4, y Decapoda con 13 especies.

La abundancia total de los macrocrustáceos incrustantes en el PNSAV fue dominada por los balanos (74.5%), seguida por los tanaidáceos (22.5 %), los anfípodos (2.5 %), los decápodos (0.4 %) y los isópodos en menor porcentaje (0.01 %). En el nivel de especie, *Amphibalanus amphitrite* fue la que presentó mayor abundancia en el PNSAV, con 6 085 individuos, seguida de *Leptochelia forrestii* con 1 840 individuos, *Ampithoe ramondi* con 86, *Ericthonius brasiliensis* con 60, y *Apocorophium simile* y *Ampithoe* sp., con 13 y 12, respectivamente. Las

especies restantes de macrocrustáceos variaron entre 8 y 1 individuos. Estos valores de abundancia, corroboraron las estimaciones hechas por la prueba de dominancia relativa (Olmstead y Túkey), donde *A. amphitrite* se caracterizó como dominante, *L. forrestii* como ocasional, y *E. brasiliensis*, *Ampithoe* sp., *A. ramondi*, *Periclemenes* sp. y *P. gemmatus*, como estacionales-indicadoras. Las demás especies se ubicaron en el cuadrante de las especies raras.

La biología de los balanos se ha caracterizado por ser indirecta; es decir, presentan un desarrollo larvario dividido en 2 estadios: como larva *nauplio*, la cual forma parte del zooplancton que flota en aguas someras, y como larva *cypris*, que se hunde hasta el fondo y se fija al sustrato por medio de glándulas cementantes situadas en la base de las primeras antenas. La larva *nauplio* pasa por 6 etapas de metamorfosis antes de convertirse en *cypris*, la cual representa la etapa de establecimiento y fijación. Una hembra ovígera de balano puede liberar hasta 13 000 larvas, las cuales para su fijación requieren rugosidad en el sustrato, profundidad somera y una capa bacteriana previa en el sustrato, adicional a los patrones de circulación en cada ambiente marino o cuenca oceánica (Brusca y Brusca, 1990; Celis y Álvarez, 2009). En este estudio, el balano *Amphibalanus amphitrite* presentó una distribución amplia, particularmente en el grupo norte del sistema arrecifal con los valores mayores de abundancia y caracterizada como dominante. El flujo neto de circulación en el parque arrecifal ha sido documentado en dirección norte y hacia la línea costera (Salas-Monreal et al., 2009), hecho que favoreció la distribución de las larvas planctónicas de estos crustáceos.

El tanaidáceo *Leptochelia forrestii* se caracterizó como ocasional, con una abundancia de 1 840 organismos en el área de estudio. El patrón corporal de los tanaidáceos es variable y está relacionado con los hábitos y estilos de vida, comúnmente asociados con la construcción de tubos en el sedimento u otros sustratos naturales o artificiales: cuerpo tubular, desarrollo de los gnatópodos en machos, presencia de cuidado parental dentro del tubo que construye con las glándulas cementantes, presencia de 1 o 2 eventos reproductivos anuales y presencia de hábitos hiperbentónicos (Holdich y Jones, 1983; Sieg, 1986; Suárez-Morales et al., 2004).

Patrones de distribución – secuencia de colonización. El proceso de incrustamiento o colonización inicia con la producción de una película orgánica (Allison, 2003), con la subsecuente colonización de organismos (Kerr et al., 2003). Esta serie de eventos complejos, donde se reconoce la asociación de organismos incrustantes marinos, incluye en orden secuencial: bacterias y diatomeas, esporas de macroalgas y protozoarios y

larvas y adultos de macroincrustantes. En estos primeros eventos pueden participar esponjas, cnidarios, briozoarios, anélidos poliquetos, moluscos, equinodermos y crustáceos (Richmond y Seed, 1991; Abarzua y Jakubowski, 1995); con un proceso complejo de reemplazo y/o colonización para cada grupo de organismos (Yan y Xia Yan, 2003).

Particularmente en el golfo de México, se ha reconocido de manera general la presencia de crustáceos incrustantes en el noreste y noroeste (Culpepper, 1969; Pequegnat y Pequegnat, 1973; Lewbel et al., 1987), sin considerar el proceso de colonización en los niveles de familia, género y especie. En el PNSAV la colonización de los macrocrustáceos incrustantes ocurre después de la producción de la película biomolecular y el asentamiento de microorganismos y micro y macroalgas (cerca de 2 meses), con el arribo de los balanos, *Amphibalanus amphitrite*, y posteriormente con los anfípodos tubícolas, *Ampithoe ramondi*, *Ampithoe* sp., *Erichthonius brasiliensis* y *Corophium* sp., en particular en los sitios cercanos a la línea de costa (arrecifes Galleguilla y Blanca). Después, y con el avance en el proceso de colonización/incrustamiento, se incrementa la presencia de estos macrocrustáceos tubícolas y/u ocupantes de tubos vacíos, tales como *Leptochelia forrestii*, *Apocorophium simile* y *Photis pugnator*, así como aquellos con adaptaciones hiperbentónicas, como *Concarnes concavus*, *Lysianopsis alba* y *Stenothoe* sp.

Con base en la composición específica y los valores de abundancia de los macrocrustáceos incrustantes, el PNSAV incluye 2 grandes áreas carcinológicas (Fig. 4): el norte, caracterizado por una riqueza de especies mayor, la dominancia numérica de los balanos y tanaidáceos y la presencia de los anfípodos en proporción menor (Cuadro 3), y el sur, caracterizado por la cantidad mayor de especies de anfípodos, la reducción en la dominancia de pocas especies y la ausencia de isópodos, tanaidáceos y decápodos incrustantes (Cuadro 4).

Salas-Monreal et al. (2009) han documentado al PNSAV como un área de evaporación alta, con salinidades por arriba de las 32 ups, temperaturas superiores a 25°C con variaciones durante un ciclo de marea. Asimismo, proponen un flujo neto de circulación superficial en dirección norte-noroeste, con la presencia de un giro ciclónico (productividad alta) y otro anticiclónico (productividad baja) frente a la desembocadura del río Jamapa (Fig. 5). Los macrocrustáceos con presencia de larvas planctónicas en el ciclo de vida (balanos) y los que habitan en la columna de agua y/o en el bentos (tanaidáceos) fueron dominantes y con una distribución mayor en el sector norte del PNSAV, lo que es consistente con el patrón de circulación superficial propuesto. En contraste, en el sector sur es más importante la presencia de macrocrustáceos incrustantes con hábitos bentónicos e hiperbentónicos. Adicionalmente,

- Culpeper, T. J. 1969. A taxonomic and ecological study of selected benthonic gammarid crustaceans from the northeastern Gulf of Mexico. PhD. Dissertation, Texas A&M University, College Station. 141 p.
- Emery, K. O. 1963. Coral reefs off Veracruz, México. *Geofísica Internacional* 3:11-17.
- Holdich, D. y J. Jones. 1983. Tanaids. Keys and notes for the identification of the species. Cambridge University Press. 98 p.
- Horta-Puga, G. y J. P. Carricart-Ganivet. 1993. Corales pétreos recientes (Milleporina, Stylasterina y Scleractinia) de México. *In Biodiversidad Marina y Costera de México*, S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad / Centro de Investigaciones Quintana Roo, México, D.F. 64-78 p.
- Horta-Puga, G., J. M. Vargas-Hernández y J. P. Carricart-Ganivet. 2009. Reef corals. *In Coral reefs of the southern Gulf of Mexico*, cap. 8, J. Tunnell, E. Chávez y K. Withers (eds.). Texas A&M, College Station. p. 95-101.
- Jordán-Dahlgren, E. 2004. Arrecifes coralinos del Golfo de México: caracterización y diagnóstico. *In Diagnóstico ambiental del golfo de México*, M. Caso, I. Pisanty y E. Ecurra (eds.). Instituto Nacional de Ecología / Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F. p. 555-572
- Kensley, B. y M. Schotte. 1989. Guide to the marine Isopod Crustaceans of the Caribbean. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 308 p.
- Kerr, A., M. J. Smith y M. J. Cowling. 2003. Optimizing optical port size on underwater marine instruments to maximize biofouling resistance. *Material Design* 24:247-253.
- Krebs, C. 1989. Ecological methodology. Harper-Collins, New York. 455 p.
- Lara, M., C. Padilla, C. García y J. J. Espejel. 1992. Coral reefs of Veracruz, México. I. Zonation and community. *In Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium* 1, R. H. Richmond (ed.). University of Guam, Micronesia, 22-27 June. p. 535-544.
- LeCroy, S. 1995. Amphipod Crustacea III. Family Colomastigidae. *Memoirs of The Hourglass Cruises* 9:1-139.
- LeCroy, S. 2000. An illustrated identification guide to the nearshore marine and estuarine gammaridean Amphipoda of Florida. Families Gammaridae, Hadziidae, Isaeidae, Melitidae and Oedicerotidae, vol. 1. U.S. Environmental Protection Agency, WM724. 195 p.
- LeCroy, S. 2002. An illustrated identification guide to the nearshore marine and estuarine gammaridean Amphipoda of Florida. Families Ampeliscidae, Amphilochidae, Amphithoidae, Aoridae, Argissidae and Haustoriidae, vol. 2. U.S. Environmental Protection Agency, WM724. p. 197-410.
- LeCroy, S. 2004. An illustrated identification guide to the nearshore marine and estuarine gammaridean Amphipoda of Florida. Families Bateidae, Biancolinidae, Cheluridae, Colomastigidae, Corophiidae, Cyproideidae and Dexaminidae, vol. 3. U.S. Environmental Protection Agency, WM724. 3:411-502.
- LeCroy, S. 2007. An illustrated identification guide to the nearshore marine and estuarine gammaridean Amphipoda of Florida. Families Anamixidae, Eusiridae, Hyaellidae, Hyalidae, Iphimedidae, Ischyroceridae, Lysianassidae, Megaluropidae and Melphidippidae, vol. 4. U.S. Environmental Protection Agency, WM724 4:503-614.
- LeCroy, S., R. Gasca, I. Winfield, M. Ortiz y E. Escobar-Briones. 2009. Amphipoda of the Gulf of Mexico. *In Gulf of Mexico: its origin, waters and biota*, vol. I, D. L. Felder and D. K. Camp (eds.). Texas A&M University Press, College Station. p. 943-972.
- Lewbel, G. S., R. L. Howard y B. J. Gallaway. 1987. Zonation of dominant fouling organisms on northern Gulf of Mexico petroleum platforms. *Marine Environmental Research* 21:199-224.
- Lowry, J. K. y A. A. Myers. 2009. Benthic Amphipoda (Crustacea: Peracarida) of the Great Barrier Reef. *Zootaxa* 2260:1-989.
- Okolodkov, Y., R. Bastida-Zalvala, A. Ibáñez, J. Chapman, E. Suárez-Morales, F. Pedroche y F. Gutiérrez-Mendieta. 2007. Especies acuáticas no indígenas en México. *Ciencia y Mar* 11:29-67.
- Ortiz, M., A. Martín, I. Winfield, Y. Díaz y D. Atienza. 2004. Anfípodos (Crustacea: Gammaridea). Clave gráfica para la identificación de las familias, géneros y especies marinas y estuarinas del Atlántico occidental tropical. Facultad de Estudios Superiores-Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 165 p.
- Pequegnat, W. E. y L. H. Pequegnat. 1973. Larval transport, settlement and population structure of offshore biofouling assemblages in the northeastern Gulf of Mexico. *In R. F. Acker, B. F. Brown, J. R. DePalam y W. P. Iverson (eds.). Proceeding 3rd International Congress Marine Corrosion and Fouling*. Northwestern University Press, Evanston, Illinois. p. 731-743.
- Richmond, M. D. y R. Seed. 1991. A review of marine macrofouling communities with special reference to animal fouling. *Biofouling* 3:151-168.
- Salas-Monreal, D., D. Salas de León, M. A. Monreal-Gómez, y M. L. Riverón-Enzástiga. 2009. Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs Manuscript On Line*: DOI 10.1007/s00338-009-0521-9. 15.X. 2009.
- Sieg, J. 1986. Distribution of the Tanaidacea: synopsis of the known data and suggestions on possible distribution patterns. *In Crustacean Biogeography*, R. H. Gore y K. L. Heck (eds.). A.A. Balkema, Rotterdam, Boston. Issues No. 4. 165-194 p.
- Sokal, R. y F. J. Rohlf. 1988. *Biometría*. Interamericana, México, D.F. 587 p.
- Suárez-Morales, E., R. Heard, S. García-Madrugal, J. J. Oliva-Rivera y E. Escobar-Briones. 2004. Catálogo de los tanaidáceos (Crustacea: Peracarida) del Caribe mexicano. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología / Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / El Colegio de la Frontera Sur, México. 120 p.
- Thomas, J. D. 1993. Identification manual for marine Amphipoda (Gammaridea): I common coral reef and rocks, bottom amphipods of south Florida. Final report DEP contract number SP290. Smithsonian Institution, Washington, D.C.
- Tunnell, J. W., Jr. 1992. Natural versus human impacts to

- southern Gulf of Mexico coral reef resources. Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium1, R. H. Richmond (ed.). University of Guam, Micronesia, 22-27 June. 1:300-306.
- Veron, J. E. 1995. Corals in space and time: The biogeography and evolution of the Scleractinia. Cornell University Press, New York. 321 p.
- Winfield, I. y M. Ortiz. 2003. Anfípodos: un enfoque biológico. FES-Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 66 p.
- Winfield, I. y E. Escobar-Briones. 2007. Anfípodos (Crustacea: Gammaridae) del sector norte del mar Caribe: listado faunístico, registros nuevos y distribución espacial. Revista Mexicana de Biodiversidad 78:51-61.
- Winfield, I., E. Escobar-Briones y J. J. Morrone. 2006. Updated checklist and identification of areas of endemism of benthic amphipods (Caprellidea and Gammaridea) from offshore habitats in the SW Gulf of Mexico. Scientia Marina 70:99-108.
- Winfield, I., L. Abarca-Arenas y S. Cházaro-Olvera. 2007a. Crustacean macrofoulers in the Veracruz coral reef system, SW Gulf of Mexico: Checklist, spatial distribution and diversity. Cahiers de Biologie Marine 48:287-295.
- Winfield, I., Escobar-Briones, E y F. Álvarez. 2007b. Clave gráfica para la identificación de los anfípodos bentónicos del golfo de México y el sector norte del Mar Caribe (de 25 a 3700 m de profundidad). Conabio-ICMyL-UNAM, México. 197 p.
- Yan, T. y W. X. Yan. 2003. Fouling of offshore structures in China - a review. Biofouling 19:133-138.