



# ESTUDIOS CIENTÍFICOS EN EL CORREDOR ARRECIFAL DEL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO

Alejandro Granados-Barba  
L. Ortiz-Lozano  
C. González-Gándara  
D. Salas-Monreal  
EDITORES



# Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano,  
C. González-Gándara y D. Salas-Monreal  
*Editores*



Granados-Barba, A., L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.), 2019. Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p.

© Universidad Autónoma de Campeche, 2019  
Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX)

ISBN 978-607-8444-54-0

doi 10.26359/epomex.0319

Esta obra se realizó en el marco de la Red para el Análisis y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana, Golfo de México (raszcov), que forma parte de las Redes Temáticas de Colaboración de Cuerpos académicos (CA) 2011 del PRODEP. En ella participan el CA Análisis y Síntesis de Zonas Costeras del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana (UV-Boca del Río); el CA “Ecosistemas Costeros” de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (UV-Tuxpan), y el grupo “Ecología y Biodiversidad de Ambientes Costeros” conformado por integrantes del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, y del Instituto de Biología de la UNAM.

# Contenido

Prólogo

Semblanzas curriculares

Arrecifes Sumergidos y su Relevancia para el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México <i>Leonardo Ortiz-Lozano, Clarissa Colmenares-Campos y Ana Lilia Gutiérrez-Velázquez</i>	1
Circulación sobre la Plataforma de Veracruz Asociada al Giro de Campeche y su Efecto en los Sistemas arrecifales <i>Gabriela Athié, David Salas-Monreal y Mark Marín-Hernández</i>	37
Frentes Térmicos, Partículas Suspendidas, Clorofila-a y Corrientes del Suroeste del Golfo de México <i>David Salas-Monreal, Gabriela Athié y Mark Marín-Hernández</i>	55
Estrellas de Mar (Echinodermata: Asteroidea) de Veracruz <i>Francisco A. Solís-Marín, Brenda Esteban-Vázquez y Alfredo Laguarda-Figueras</i>	75
Las Comunidades de Erizos Regulares en Dos Bancos Sumergidos de Veracruz, México <i>Carlos González-Gándara, Adán Guillermo Jordán Garza, Leonardo D. Ortiz-Lozano, José de Jesús Salas-Pérez y Consuelo Domínguez-Barradas</i>	99
Riqueza de Especies de Crustáceos Malacostracos de los Sistemas Arrecifales Lobos-Tuxpan y Veracruzano <i>M. Hermoso-Salazar, K. Arvizu-Coyotzi y M. Ayón-Parente</i>	113
Las Anémonas Marinas de los Sistemas Arrecifales de Veracruz <i>Vicencio de la Cruz-Francisco y Ricardo González-Muñoz</i>	139
Familias de Anélidos Poliquetos Asociadas a Coral Muerto en Arrecifes del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México <i>Tania Evett Acevedo-Barradas, Alejandro Granados-Barba y Vivianne Solís-Wolfowitz</i>	157

Corales Hermatípicos y Macroalgas en Arrecifes Bordeantes Frente a Chachalacas, Veracruz, Suroeste del Golfo de México <i>L. Estrada-Vargas, Y.B. Okolodkov, C. Galicia-García, H. Pérez-España, N.F. Álvarez-Velázquez e I. Martínez-Serrano</i>	177
Ecología Poblacional de Delfines ( <i>Tursiops truncatus</i> ) en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México <i>Eduardo Morteo, Tania E. Ramírez y Romero, Verónica del Castillo-Olvera, Christian A. Delfín-Alfonso, Javier Bello-Pineda, Alvar González-Christen</i>	191
El Conocimiento de las Aves en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México <i>Jimmy Argüelles Jiménez, Mariana Stephanie Reyes-Reyes, Juventino Martínez-Cruz, Consuelo Domínguez-Barradas, Juan Cipriano-Anastasio y Enriqueta Velarde</i>	215
Species-Area and Trophic Level of the Fish Community of the Veracruz Coast, Mexico <i>L.G. Abarca-Arenas, J. Franco-López, E. Valero-Pacheco y C. González-Gándara</i>	247
Hacia la Comprensión de los Aspectos Sociales y Económicos de la Pesca en el Corredor Arrecifal Veracruzano: Tamiahua como Caso de Estudio <i>J. Argüelles-Jiménez, M. Ricaño Soriano y V. de la Cruz-Francisco</i>	263
Los Pastos Marinos y la Captura de Carbono Azul una Razón para Estudiarlos en el CASGM <i>Pedro Ramírez-García, Karla Pedraza-Venegas y Alejandro Granados-Barba</i>	281
El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México y los Sistemas de Manglar de Veracruz <i>José Antolín Aké-Castillo y Carlos Francisco Rodríguez-Gómez</i>	301
Presencia de <i>Pterois volitans</i> en Área No Protegida en la Costa Central de Veracruz <i>María del Refugio Castañeda-Chávez, Ángel Roberto Reyes-Aguilar, Jesús Montoya-Mendoza y Fabiola Lango-Reymoso</i>	317
Clave para el Diagnóstico en Campo de Enfermedades de Corales Escleractinios en El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz <i>A.G. Jordán-Garza, C. González-Gándara, J.J. Salas-Pérez y J. Bazaldua-Fajardo</i>	325
Evaluación de las Fuentes Naturales y Antropogénicas de Nitrógeno y Carbono en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano <i>Laura Carreón-Palau, Jorge A. del Angel-Rodríguez, Christopher C. Parrish, Horacio Pérez-España y Sergio Aguiñiga-García</i>	345

## Prólogo

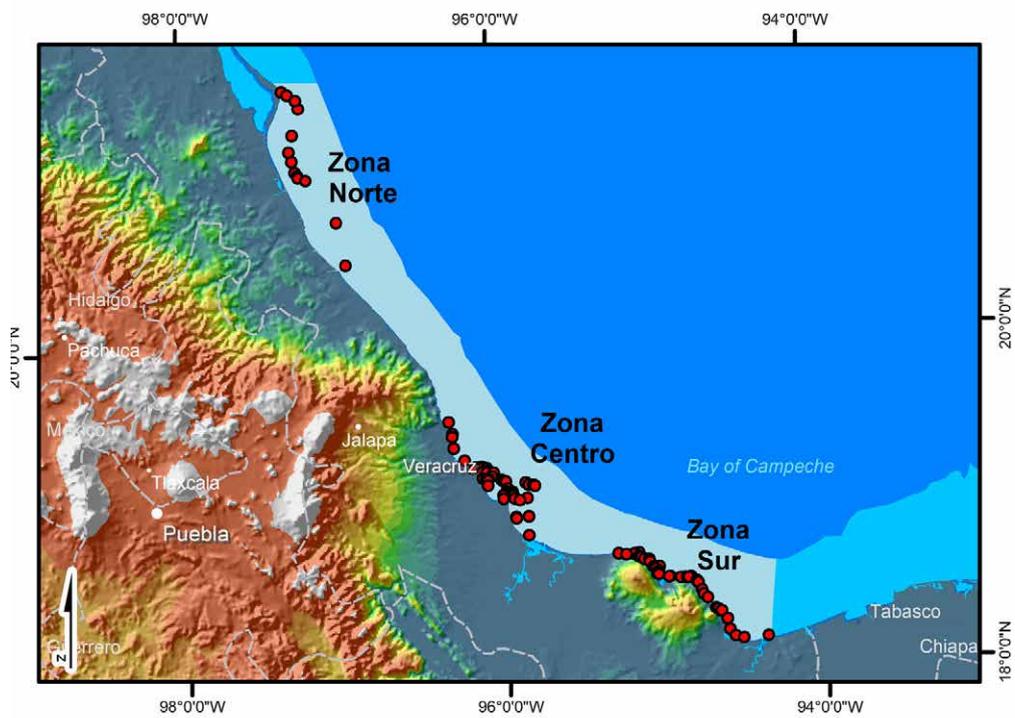
La plataforma continental del suroeste del golfo de México es una zona de gran heterogeneidad ambiental que no solamente alberga más de cien diferentes estructuras arrecifales, sino que es y ha sido fuente de alimento y empleo para miles de familias que por generaciones han visto en la pesca una forma de sustento y de vida.

A lo largo de aproximadamente 500 km, el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) es escenario de variados paisajes submarinos que involucran arrecifes coralinos emergidos, bordeantes y sumergidos, así como zonas de arrecifes rocosos, dunas sumergidas y arrecifes no coralinos. Todos estos ecosistemas, distribuidos latitudinalmente, son el reflejo de una historia geológica y ambiental que ha moldeado la complejidad biológica característica del suroeste del golfo, donde la interdependencia con ecosistemas como ríos, manglares, pastos marinos y lagunas costeras es marcada.

La presión humana sobre este Corredor Arrecifal es fuerte. A escalas locales, la sobrepesca, el aumento en las tasas de sedimentación por la deforestación y el desarrollo urbano, las actividades portuarias y las maniobras asociadas con la industria de los hidrocarburos, se conjugan con fenómenos globales como el cambio climático, y el incremento de temperatura y acidez en el océano. Como resultado, los cambios en las coberturas coralinas, el aumento de nutrientes en la columna de agua y la pérdida de fauna íctica herbívora, han propiciado el incremento de la presencia de macroalgas que poco a poco dominan el paisaje, e incluso, algunas zonas parecen mostrar un cambio de fase.

Si bien la historia del estudio de los ecosistemas arrecifales en esta región del golfo de México es larga, tradicionalmente las investigaciones científicas se han enfocado en los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano y en los del Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan. No obstante, en los últimos quince años han surgido diferentes enfoques para entender las relaciones entre estos sistemas y con aquellos que se ubican en la plataforma continental de la península de Yucatán.

## ARRECIFES CONOCIDOS DEL CORREDOR ARRECIFAL DEL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO.

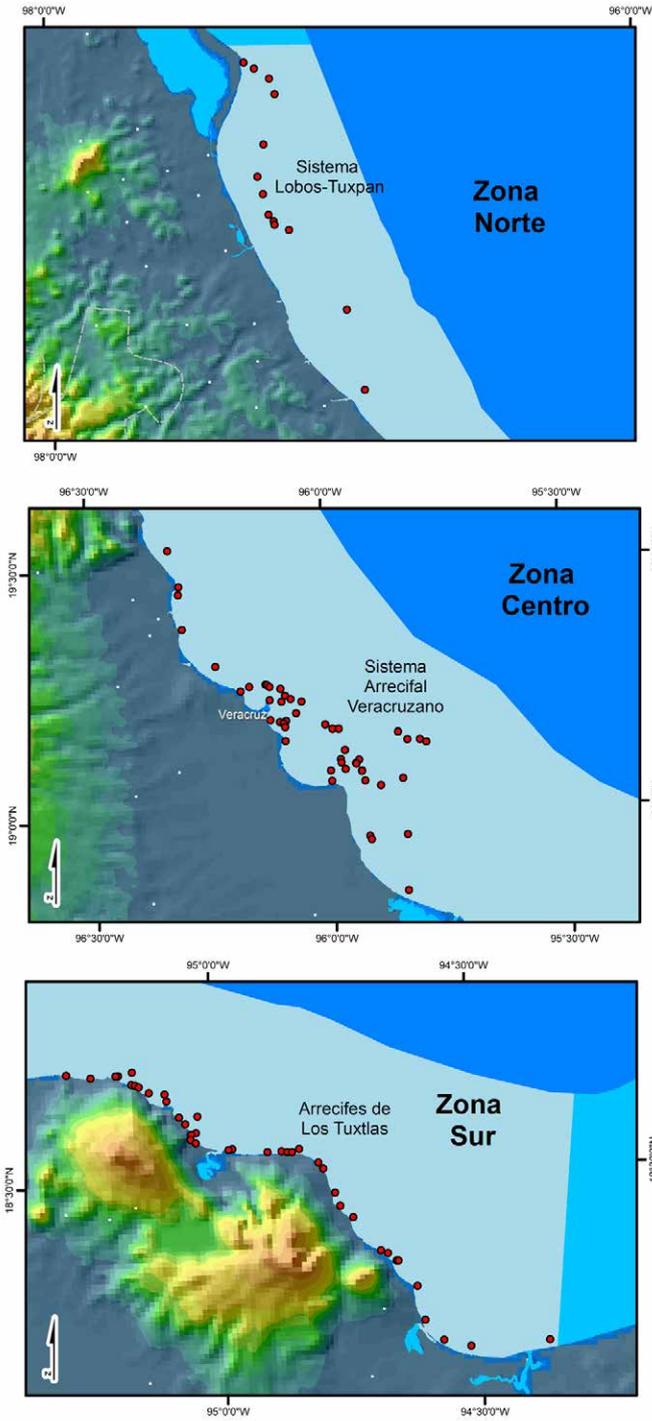


El entender a toda esta región como un Corredor Arrecifal, permite no solamente generar hipótesis sobre la conectividad ecológica y biogeográfica entre los arrecifes que lo integran, sino que abre paso a una visión integral que cataliza los diferentes esfuerzos de la comunidad científica, los usuarios y las autoridades por garantizar la permanencia en el tiempo de esta fuente de servicios ecosistémicos.

Bajo esta perspectiva, en el presente libro, el lector podrá encontrar diferentes estudios sobre componentes clave de los ecosistemas arrecifales y ambientes asociados, como pastos marinos y manglares. Aquí se presenta un recuento de los poco conocidos arrecifes sumergidos, pasando por la descripción de las condiciones oceanográficas que imperan y moldean esta diversidad de ambientes. Asimismo, se incluyen diversas aportaciones en el estudio de la macrofauna bentónica y de los peces, e incluso, de mamíferos marinos y aves que comparten su hábitat en esta singular región, sin olvidar el estudio de las amenazas sobre los corales, que son los principales formadores de arrecifes en la zona, como son las enfermedades que los afectan, o las especies invasoras como el pez león, y la contaminación producto de las descargas fluviales y urbanas. Ante el fuerte impulso de las actividades humanas a lo largo del Corredor Arrecifal, esperamos que este libro sirva para poner sobre la mesa una importante contribución científica, que permita contar con información actualizada que coadyuve en la toma de decisiones más acertadas sobre el desarrollo costero y marino del suroeste del golfo de México.

*Los editores*

# ARRECIFES CONOCIDOS DEL CORREDOR ARRECIFAL DEL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO.



## Arrecifes conocidos del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

(Ordenados de norte a sur)

Zona Norte					
Arrecife	Latitud	Longitud	Arrecife	Latitud	Longitud
Lobos	21.450000	-97.220278	En Medio	21.066667	-97.254167
Cabo Verde	21.553889	-97.321944	Pantepec Norte	21.045833	-97.237222
Blanquilla	21.533333	-97.288056	Pantepec Sur	21.034532	-97.235121
Medio	21.500000	-97.237222	Tuxpan	21.016667	-97.186389
Corazones	21.291328	-97.263815	Blake	20.758333	-96.999722
Oro Verde	21.188889	-97.288056	Piedras Altas	20.501137	-96.948018
Tanhuijo	21.133333	-97.271111			

Zona Centro					
Arrecife	Latitud	Longitud	Arrecife	Latitud	Longitud
Amarillos	19.537679	-96.326878	Sacrificios	19.177016	-96.092385
Primera Laja	19.464539	-96.306193	Anegada de Afuera	19.158676	-95.854501
Segunda Laja	19.448575	-96.307867	Ingenieros	19.149029	-96.092824
Chalchihuecan	19.379041	-96.302218	Topatillo	19.142977	-95.835755
Monte Negro	19.302556	-96.234940	Santiaguillo	19.142477	-95.809003
Galleguilla N	19.262621	-96.130127	Anegadilla	19.136971	-95.795912
Galleguilla C	19.261842	-96.127099	La Palma 1	19.126625	-95.967858
Galleguilla S	19.258021	-96.121931	La Palma 2	19.126270	-95.968350
La Loma	19.259636	-96.164876	Polo	19.108503	-95.977635
Blanquilla N	19.253357	-96.099126	Enmedio	19.106099	-95.939164
Blanquilla C	19.239225	-96.090245	Los Bajitos	19.101759	-95.976463
Blanquilla S	19.232241	-96.078663	Sargazo	19.099243	-95.945813
Punta Gorda	19.251085	-96.183811	Los Sargazos	19.098510	-95.945140
Galleguilla	19.231271	-96.122868	Chopas	19.088364	-95.968362
Blanquilla	19.227298	-96.098208	Blanca	19.086803	-95.999618
Anegada de Adentro	19.226322	-96.055719	Periférico	19.084310	-95.933880
Verde	19.203466	-96.068006	Periférico	19.083290	-95.934102
Hornos	19.191584	-96.122661	Cabezo	19.065980	-95.848202
Pájaros	19.188906	-96.089496	Giote	19.065980	-95.997178
Mersey	19.187070	-96.102881	Rizo	19.063957	-95.927766
Terranova 1	19.184040	-96.095530	Rizo SE	19.053444	-95.895135
Terranova 2	19.183929	-96.095374	Picos Norte	18.953379	-95.922279
Pedregales N	19.178776	-96.007482	Picos Sur	18.946149	-95.919452
Pedregales C	19.169811	-95.992815	Los Gallos	18.953194	-95.843018
Pedregales S	19.169400	-95.979688	Camaronera	18.841295	-95.845933

Zona Sur					
Arrecife	Latitud	Longitud	Arrecife	Latitud	Longitud
Punta Puntilla	18.709667	-95.286333	Barco Viejo	18.550000	-94.872333
La Poza	18.709333	-95.157500	El Salado	18.549667	-94.899833
Playa Escondida	18.704167	-95.185000	Guasinapan	18.548000	-94.861167
La Ensenada	18.704000	-95.189833	Olapa	18.547500	-94.851833
Isla El Terrón	18.701833	-95.238833	Las Cruces	18.538000	-95.067167
Armita 1	18.686333	-95.159833	Perla del Golfo	18.525667	-94.801833
Armita 2	18.685167	-95.152500	Zapotitlán	18.514000	-94.792667
La Herradura	18.681667	-95.145500	Mezcalapa	18.468500	-94.772000
Playa Hermosa	18.670000	-95.126167	Sochoapa	18.443500	-94.763333
Montepio Costero	18.665833	-95.095667	Punta Tecuanapa	18.421667	-94.738667
Montepio Poza	18.652833	-95.092667	Peña Hermosa	18.357333	-94.688167
Jicacal Poza	18.621833	-95.033333	Puna Peña Hermosa	18.351667	-94.674500
Muelle Balzapote	18.621833	-95.069667	El Terrón 1	18.336833	-94.658333
Punta Playita	18.609000	-95.058167	El Terrón Poza	18.336667	-94.654667
Jicacal 1	18.591167	-95.037833	Punta San Juan	18.288167	-94.620333
Jicacal 2	18.588500	-95.047500	Jicacal	18.224333	-94.608333
Punta Sábalo	18.574667	-95.082167	La Cuadrada	18.185333	-94.573833
La Playita	18.558167	-94.968333	Palo Seco	18.171667	-94.521667
Los Morritos	18.557333	-94.975667	Tripie	18.176000	-94.367500
Los Mulatos	18.552667	-94.837988			

## Semblanzas curriculares de los Editores

**Alejandro Granados-Barba.** Doctor en Ciencias por la Facultad de Ciencias UNAM. Actualmente, es Investigador Titular del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana (UV) en Boca del Río, Ver., donde desarrolla la línea de investigación “Ecología de Ambientes Costeros”. Es miembro del S.N.I. nivel 2, y es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.  
*agranados@uv.mx*

**Leonardo Dagoberto Ortiz-Lozano.** Doctor en Oceanografía Costera por la Universidad Autónoma de Baja California. Actualmente, es Investigador Titular en el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana (UV) en Boca del Río, Ver., donde desarrolla la línea de investigación “Estrategias para el Manejo de Recursos en la Zona Costera”. Es miembro del S.N.I. nivel 1, y es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.  
*ortizleo@gmail.com*

**David Salas-Monreal.** Doctor en Oceanografía Física por Old Dominion University, EUA. Actualmente, es Investigador Titular del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana (UV) en Boca del Río, Ver., donde desarrolla las líneas de investigación “Oceanografía Física”, Biofísica Marina” y “Modelación”. Es miembro del S.N.I. nivel 1, y es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.  
*davsalas@uv.mx*

**Carlos González-Gándara.** Doctor en Ciencias Marinas por el CINVESTAV-IPN-Mérida. Actualmente, es Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana (UV) en Tuxpan, Ver., donde realiza estudios taxonómicos y ecológicos acerca de las comunidades de arrecifes coralinos. Es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.  
*cggandara@hotmail.com*

## de los Autores

**Adán Guillermo Jordán Garza.** Doctor en Ciencias Biológicas del Instituto de Tecnología de Florida. Actualmente, es Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, UV-Tuxpan, donde estudia las enfermedades de coral y sus efectos en poblaciones y comunidades coralinas. Es miembro del S.N.I. nivel Candidato, y es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*ajordan@uv.mx*

**Alfredo Laguarda-Figueras.** Doctor en Biología por la Facultad de Ciencias UNAM. Actualmente, es Investigador Titular adscrito al Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM-CDMX, donde estudia la sistemática y ecología de equinodermos. Es miembro del S.N.I. nivel II.

*laguarda@cmarl.unam.mx*

**Alvar González-Christen.** Maestro en Ciencias por el INIREB, Xalapa. Es investigador titular en el Instituto de Investigaciones Biológicas, UV-Xalapa, donde desarrolla la línea de investigación “Sistemática, distribución y conservación de vertebrados silvestres del estado de Veracruz”. Es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*gonalvar@gmail.com*

**Ana Lilia Gutiérrez-Velázquez.** Doctorado en Ciencias por el Instituto de Ecología, A.C. Desarrolló su estancia posdoctoral en el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la UV. Actualmente, labora en el Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, del Tecnológico Nacional de México, donde desarrolla investigaciones sobre Sistemática y Biogeografía de la Conservación.

*anisgtz@gmail.com*

**Ana Margarita Hermoso Salazar.** Doctora en Biología Marina por el Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Actualmente, es Asesora de Catálogos de Autoridades Taxonómicas de la CONABIO (responsable del catálogo de crustáceos de México), y profesora de la Facultad de Ciencias UNAM. Es miembro del S.N.I. nivel I.

*hsam41@hotmail.com*

**Ángel Roberto Reyes-Aguilar.** Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental por el Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, del Tecnológico Nacional de México, donde desarrolló el tema de las concentraciones de metales pesados en tejido muscular de *Pterois volitans* en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

**Brenda Lizbeth Esteban-Vázquez.** Estudiante de Biología de la Facultad de Ciencias, UNAM, es tesista del Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM-CDMX donde estudia la sistemática de las estrellas de mar de México.

**Carlos Francisco Rodríguez-Gómez.** Maestro en Ecología y Pesquerías por la Universidad Veracruzana. Actualmente, estudia un doctorado en ciencias enfocado en la ecología de florecimientos algales y modelación de nicho ecológico en el Posgrado del Instituto de Ecología, A.C. en Xalapa, Veracruz.

*carlosfco. rodriguez@gmail.com*

**Christian Alejandro Delfin-Alfonso.** Doctor en Ciencias en Recursos Bióticos por la Universidad Autónoma de Querétaro. Es Investigador Titular del Instituto de Investigaciones Biológicas, UV-Xalapa, donde desarrolla la línea de investigación “Modelos Espaciales Aplicados al Manejo de Vida Silvestre”. Es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*cada7305@gmail.com*

**Christopher C. Parrish.** Ph.D in Oceanography, Dalhousie University, Canada. Profesor investigador del departamento de ciencias oceánicas de la Memorial University of Newfoundland, Canadá. Su investigación se enfoca en la producción, transporte y destino de la materia orgánica hidrofóbica, así como de sus efectos en el medio marino.

*cparrish@mun.ca*

**Citlalli Galicia-García.** Maestra en Ecología y Pesquerías: por la Universidad Veracruzana (UV)-Boca del Río. Actualmente, es profesora en el Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, del Tecnológico Nacional de México, donde realiza estudios florísticos de macroalgas marinas.

*citlalligalicia@itboca.edu.mx*

**Clarissa Colmenares-Campos.** Bióloga por el Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, del Tecnológico Nacional de México. Actualmente, estudia la Maestría en Ecología y Pesquerías, UV-Boca del Río, analizando la distribución potencial de corales escleractinios en el Suroeste del golfo de México.

*clarissa4793@hotmail.com*

**Consuelo Domínguez-Barradas.** Doctora en Biotecnología de Plantas por la Universidad Veracruzana. Actualmente, es profesora-investigadora de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, UV-Tuxpan, donde desarrolla la línea de investigación de biodiversidad y ecología de ecosistemas costeros. Es Profesora con Perfil Deseable PRODEP.

*consuelodb66@hotmail.com*

**Eduardo Morteo.** Doctor en Ecología y Pesquerías: por la Universidad Veracruzana (UV)-Boca del Río. Actualmente, es Investigador Titular del Instituto de Investigaciones Biológicas, UV-Xalapa, donde desarrolla la línea de investigación “Ecología Poblacional y Evolutiva de Mamíferos Marinos”, con énfasis en sus interacciones con humanos. Es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*emorteo@gmail.com*

**Elizabeth Valero-Pacheco.** Doctora en Neuroetología por el Instituto de Neuroetología, UV-Xalapa. Estudia las líneas de investigación “Ecología de Peces”, y “Ecología y Comportamiento de Macrocrustáceos Marinos”.

*evalero@uv.mx*

**Fabiola Lango-Reynoso.** Doctora en Oceanología Biológica por la Université de Bretagne Occidentale, Francia. Actualmente, es Profesora-Investigadora en el Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, del Tecnológico Nacional de México, donde desarrolla la línea de investigación “Procesos y Tecnologías para Sistemas Ambientales en los Ecosistemas Costeros Marinos”. Es miembro del S.N.I. nivel I, y es Profesora con Perfil Deseable PRODEP.

*fabiolalango@yahoo.com.mx*

**Francisco Alonso Solís-Marín.** Doctor en Ciencias por University of Southampton, Inglaterra. Actualmente, es Investigador Titular, adscrito al Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM-CDMX, donde estudia la sistemática y ecología de equinodermos. Es miembro del S.N.I. nivel II.

*fasolis@cmarl.unam.mx*

**Gabriela Athié.** Doctora en Oceanografía Física por Université de Bretagne Occidentale, Brest, Francia. Actualmente, es Investigadora Cátedra-CONACYT en el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, UV-Boca del Río, donde desarrolla las líneas de investigación “Oceanografía Física de Mesoescala” y “Oceanografía por Satélite”.

*gathie@uv.mx*

**Horacio Pérez-España.** Doctor en Ciencias Marinas por el CICIMAR-IPN-La Paz. Actualmente, es Investigador Titular en el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, UV-Boca del Río, donde realiza estudios sobre la alimentación de peces, ecología de comunidades de arrecife, y análisis de la estabilidad de ecosistemas marinos. Es miembro del S.N.I. nivel I, y es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*hperez@uv.mx*

**Ibiza Martínez-Serrano.** Doctora en Neuroetología por la Universidad Veracruzana. Actualmente, es profesora de la Facultad de Biología, UV-Xalapa, donde estudia la Línea de Investigación “Ecología Evolutiva y Conductual de Vertebrados Marinos”. Es Profesora con Perfil Deseable PRODEP.

*ibimartinez@uv.mx*

**Javier Bello-Pineda.** Doctor en Ciencias por Trent University, Canadá. Actualmente, es Investigador Titular del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, UV-Boca del Río, donde desarrolla la línea de investigación “Análisis espacial para la toma de decisiones”. Es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*bellopj@yahoo.com*

**Jesús Montoya-Mendoza.** Doctor en Ciencias Biológicas por el Instituto de Biología UNAM. Actualmente, es Profesor-Investigador en el Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, del Tecnológico Nacional de México, donde desarrolla a investigaciones sobre ecología parasitaria de peces marinos e indicadores de contaminación. Es miembro del S.N.I. nivel I, y es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*jesusmontoya@itboca.edu.mx*

**Jimmy Argüelles-Jiménez.** Maestro en Biología Marina por el CINVESTAV-IPN-Mérida. Actualmente, estudia el doctorado en Ecología y Pesquerías, UV-Boca del Río, donde investiga patrones de madurez ecosistémica.

*cayix24@gmail.com*

**Jonathan Bazaldua-Fajardo.** Biólogo Marino por la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, UV-Tuxpan. Estudia el tema de la relación entre la estructura de los ensamblajes corales y los peces.

*Jonathan.Bazaldua.Fajardo@gmail.com*

**Jonathan Franco-López.** Maestro en Ciencias por la Facultad de Ciencias, UNAM. Es Catedrático de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, donde estudia las líneas de investigación “Ecología de Peces” y “Ecología de Lagunas Costeras”.

*jfranco@unam.mx*

**Jorge Arturo del Angel-Rodríguez.** Doctor en Ciencias por la Memorial University of Newfoundland, Canadá. Actualmente realiza un posdoctorado en esa misma universidad donde estudia la caracterización nutricional y condición fisiológica de fitoplancton, zooplancton y vertebrados marinos así como las cadenas tróficas mediante biomarcadores lipídicos (ácidos grasos y esteroides).

*delangelj@gmail.com*

**José Antolín Aké-Castillo.** Doctor en Ciencias (Ecología y Manejo de Recursos Naturales) por el Instituto de Ecología A. C. Actualmente, es Investigador Titular del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, UV-Boca del Río, Veracruz, donde desarrolla la línea de investigación “Fitoplancton y Otros Productores Primarios” particularmente manglar. Es miembro del S.N.I. nivel I, y es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*joseake@yahoo.com*

**José de Jesús Salas-Pérez.** Doctor en Oceanografía Física por la Universidad Politécnica de Cataluña, España. Actualmente, es Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de Tuxpan, Universidad Veracruzana, donde estudia la oceanografía de sistemas arrecifales. Es miembro del S.N.I. nivel I y es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*jesalas@uv.mx*

**Juan Cipriano-Anastasio.** Maestro en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros por la Universidad Veracruzana, en Tuxpan. Actualmente, labora en el Instituto Tecnológico de Huejutla como profesor y estudia la ornitofauna en los agroecosistemas de la Huasteca, Hidalguense. *bio.jca@gmail.com*

**Juana Karina Arvizu Coyotzi.** Maestra en Ecología y Pesquerías por la Universidad Veracruzana, en Boca del Río. Actualmente, es becaria en el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías desarrollando labores de apoyo en investigación en temas de taxonomía y ecología de macrocosteros de zonas costeras. *jkarinaacoyotzi@hotmail.com*

**Juventino Martínez-Cruz.** Estudia Biología Marina en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana en Tuxpan. Ha trabajado con aspectos poblacionales y migratorios del pelicano pardo (*Pelecanus occidentalis*) en las costas de Veracruz.

**Karla Pedraza-Venegas.** Maestra en Ciencias por la Universidad Autónoma de Baja California Sur. Actualmente, estudia un doctorado en ciencias marinas y costeras en la UABCS, donde desarrolla el tema distribución espaciotemporal y efecto de la temperatura en las praderas del pasto marino *Phyllospadix scouleri*. *karlapedraza2001@hotmail.com*

**Laura Carreón-Palau.** Doctora en Ciencias por la Memorial University of Newfoundland, Canadá. Actualmente, labora en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) y es postdoctorante honorario en la Memorial University of Newfoundland, donde estudia los aspectos nutricionales de productores primarios y su transferencia en cadenas tróficas usando biomarcadores, así como, la detección de contaminación urbana. Es miembro del S.N.I. nivel I. *lcarreon@cibnor.mx*

**Lizbeth Estrada-Vargas.** Maestra en Ciencias Ambientales (Química Ambiental) por la Universidad del Mar. Actualmente, estudia un doctorado en Ecología y Pesquerías, UV-Boca del Río, enfocada en el estudio de la dinámica de poblaciones de dinoflagelados bentónicos. *lizestrada@gmail.com*

**Luis Gerardo Abarca-Arenas.** Doctor en Ciencias por University of Maryland, EUA. Actualmente, es Investigador en el Instituto de Investigaciones Biológicas de la UV, en Xalapa, donde estudia la línea de investigación “Análisis de redes tróficas, ecología de peces”. Es Profesor con Perfil Deseable, PRODEP. *luisгаа@gmail.com*

**Manuel Ayón Parente.** Doctor en Ciencias del Mar y Limnología por la UNAM. Actualmente, está adscrito al departamento de Ecología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, donde desarrolla la línea de investigación “Taxonomía y Ecología de crustáceos”.

*ma\_parente@gmail.com*

**María del Refugio Castañeda-Chávez.** Doctora en Ciencias por el Centro de Investigación CONACYT CIMAV-Chihuahua. Actualmente, es Profesora-Investigadora del labora en el Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, del Tecnológico Nacional de México, donde desarrolla la línea de investigación “Biotecnología Ambiental en los Ecosistemas Costeros y Marinos”. Es miembro del S.N.I. nivel I, y es Profesora con Perfil Deseable PRODEP.

*castanedaitboca@yahoo.com.mx*

**María Enriqueta Velarde-González.** Doctora en Ciencias Biológicas por la Facultad de Ciencias, UNAM. Actualmente, es Investigadora Titular en el Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, UV-Boca del Río, donde desarrolla investigaciones sobre ecología de poblaciones y genética aplicadas al manejo y conservación de aves marinas en el golfo de California y golfo de México. Es miembro del S.N.I. nivel 1 y es Profesora con Perfil Deseable PRODEP.

*enriqueta\_velarde@yahoo.com.mx*

**Mariana Stephanie Reyes-Reyes.** Bióloga por la Universidad Veracruzana en Xalapa. Ha trabajado con aves costeras enfocándose principalmente en la ecología de los láridos en las costas del golfo de México.

*fannyphaa@gmail.com*

**Mark Marín-Hernández.** Doctor en Oceanografía Física por el CICESE en Ensenada, B.C. Actualmente, es Investigador Titular del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, UV-Boca del Río, donde desarrolla las líneas de investigación “Oceanografía Física” y “Oceanografía Costera”. Es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.

*markmarin@uv.mx*

**Melina Ricaño Soriano.** Maestra en Ciencias del Ambiente por la Universidad Veracruzana. Actualmente colabora con Océanos Vivientes A.C. en estudios sobre el diagnóstico y conservación de los peces sierra en México.

*melinaricsor@gmail.com*

**Nancy Fabiola Álvarez-Velázquez.** Bióloga por la Universidad Veracruzana. Actualmente, realiza una maestría en Biología Marina en el CINVESTAV-IPN-Mérida, desarrollando estudios de taxonomía y ecología de cefalópodos (paralarvas).

*nancyfav@hotmail.com*

**Pedro Ramírez García-Armorea.** Candidato a Dr. por la UNAM. Actualmente, es técnico académico en el Instituto de Biología de la UNAM, donde desarrolla investigaciones sobre las comunidades de plantas acuáticas con énfasis en manglares y praderas de pastos marinos.

*armora9@gmail.com*

**Ricardo González-Muñoz.** Doctor en Ciencias por la UNAM. Actualmente, es investigador postdoctoral en el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras CONICET, de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, donde desarrolla estudios taxonómicos, ecológicos y biogeográfico de las anémonas del golfo de México y mar Caribe.

*ricordea.gonzalez@gmail.com*

**Sergio Aguiñiga-García.** Doctorado en Oceanografía Costera por la UABC. Actualmente, es investigador del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur. Estudia la utilización de isótopos estables de carbono y nitrógeno, así como ácidos grasos para estimar la variabilidad del origen de la materia orgánica y sus destinos en la trama trófica marina.

*saguiniga@gmail.com*

**Tania Eugenia Ramírez y Romero.** Bióloga por la Facultad de Biología, UV-Xalapa. Desarrolló su servicio y prácticas profesionales en el Laboratorio de Mamíferos Marinos del Instituto de Investigaciones Biológicas de la UV. Actualmente, labora en la Consultoría Ambiental Huelia Ecológica, A.C.

*dolphin\_tann2002@yahoo.com.mx*

**Tania Evett Acevedo Barradas.** Bióloga por la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, UV-Tuxpan. Actualmente, realiza una maestría en Ingeniería en Ciencias Ambientales en el Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz, del Tecnológico Nacional de México, desarrollando estudios de evaluación y monitoreo ambiental en la cuenca baja del río Jamapa, Veracruz.

*evi\_145@hotmail.com*

**Verónica del Castillo-Olvera.** Bióloga por la Escuela de Biología, BUAP-Puebla. Desarrolló sus prácticas profesionales y tesis en el Laboratorio de Mamíferos Marinos del Instituto de Investigaciones Biológicas, UV-Xalapa.

*tursiopsv@gmail.com*

**Vicencio de la Cruz-Francisco.** Maestro en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros por la Universidad Veracruzana. Actualmente, es profesor en la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, UV-Tuxpan, donde estudia las macroalgas y la macrofauna en la laguna de Tampamachoco y en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan.

*vicenciodelacruz@gmail.com*

**Vivianne Solís-Wolfowitz.** Doctora en Oceanografía Biológica por la Université d'Aix-Marseille, Francia. Actualmente, es Investigadora Titular del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, en la Unidad Académica de Puerto Morelos, Quintana Roo, donde desarrolla la línea de investigación "Taxonomía y Ecología Bentónica de Sistemas Acuáticos". Es miembro del S.N.I. nivel 3.

*solisw@cmarl.unam.mx*

**Yuri B. Okolodkov.** Doctor en Ciencias Biológicas por el Instituto Botánico Komarov, Academia de Ciencias de Rusia en San Petersburgo. Actualmente, es Investigador Titular del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, UV-Boca del Río, donde estudia las microalgas marinas planctónicas y de hielos polares, con énfasis en la taxonomía, ecología y biogeografía de dinoflagelados. Es miembro del S.N.I. nivel 2, y es Profesor con Perfil Deseable PRODEP.  
*yuriokolodkov@yahoo.com*

Ortiz-Lozano, L., C. Colmenares-Campos y A.L. Gutiérrez-Velázquez, 2019. Arrecifes Sumergidos y su Relevancia para el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, p. 1-36. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Arrecifes Sumergidos y su Relevancia para el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

*Leonardo Ortiz-Lozano*<sup>1,\*</sup>, *Clarissa Colmenares-Campos*<sup>2</sup>  
y *Ana Lilia Gutiérrez-Velázquez*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

<sup>2</sup>Maestría en Ecología y Pesquerías, Universidad Veracruzana

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Boca del Río, Instituto Tecnológico Nacional

\*ortizleo@gmail.com

## RESUMEN

En el planteamiento inicial sobre la presencia del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México uno de los asuntos más relevantes fue las grandes distancias entre los tres sistemas arrecifales que lo integran: Lobos-Tuxpan, Arrecifal Veracruzano y Los Tuxtles. Estas distancias y la fuerte actividad pesquera a lo largo de la costa veracruzana hicieron suponer la presencia de arrecifes sumergidos que sirvieran como enlace entre los principales sistemas. Con información proporcionada por pescadores, literatura científica y documentos oficiales, se realizaron exploraciones a lo largo de la plataforma continental del suroeste del golfo de México con la finalidad de encontrar arrecifes sumergidos. Mediante el uso de ecosondas y software de modelación batimétrica se identificaron y describieron morfológicamente 30 arrecifes sumergidos, de los cuales seis se encuentran en la región entre Tamiahua y Tecolutla, 21 en el Sistema Arrecifal Veracruzano y áreas circundantes y tres en las costas de Los Tuxtles. Estos arrecifes son de gran importancia económica y ambiental para la región y se ven amenazados por las actividades pesqueras, náuticas y de la industria de los hidrocarburos.

**Palabras clave:** arrecifes sumergidos, corredor arrecifal, golfo de México.

## ABSTRACT

In the initial approach to the presence of the Reef Corridor of the Southwestern Gulf of Mexico, one of the most relevant issues was the long distances between the three reef systems that comprise it: Lobos-Tuxpan, Arrecifal Veracruzano and Los Tuxtlas. These distances and the strong fishing activity along the Veracruz coast suggested the presence of submerged reefs that served as a link between the three main systems. With information provided by fishermen, scientific literature and official documents, explorations were made along the continental shelf of the southwest of the Gulf of Mexico in order to find submerged reefs. Through the use of echo sounders and bathymetric modeling software, 30 submerged reefs were identified and described morphologically, of which six are in the region between Tamiahua and Tecolutla, 21 in the Veracruz Reef System and surrounding areas and three on the coasts of Los Tuxtlas. These reefs are of great economic and environmental importance for the region and are threatened by fishing, nautical and hydrocarbon industry activities.

**Keywords:** Submerged Reefs, Reef Corridor, Gulf of Mexico.

## INTRODUCCIÓN

En el planteamiento inicial sobre la presencia del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM), uno de los asuntos más relevantes fue la distancia entre los tres grandes sistemas arrecifales que lo integran: Lobos-Tuxpan, Arrecifal Veracruzano y Los Tuxtlas (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). Estas distancias relativamente amplias, que van de los 60 hasta poco más de los 200 km, generaron la duda sobre la presencia de estructuras arrecifales intermedias que acortaran estas brechas geográficas y que sirvieran para evaluar la conectividad entre los grandes sistemas arrecifales; sin embargo, la revisión de imágenes satelitales de la plataforma continental frente al estado de Veracruz sólo evidenciaba la presencia de los sistemas y arrecifes ya conocidos. No obstante, la fuerte actividad pesquera artesanal a lo largo de la costa veracruzana apuntaba hacia la existencia de ecosistemas submarinos que sirven a los pescadores locales para el desarrollo de su actividad, toda vez que gran parte de la captura comercial está relacionada con especies que utilizan arrecifes en algún estadio de su vida.

Desde 2009 se empezaron a publicar resultados de investigaciones realizadas por la Universidad Veracruzana al sur del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) que daban cuenta de la presencia de un arrecife coralino que no era perceptible en imágenes remotas (Martos, 2010). Este arrecife sumergido, conocido por los pescadores como Bajo Negro, y que fue reportado por la academia bajo el nombre de Blake, reforzó la idea de la existencia de estructuras arrecifales en el CASGM que no habían sido reportadas para la ciencia. El Blake y el arrecife sumergido Pantepec (ambos en el SALT) fueron considerados dentro del trabajo de Ortiz-Lozano *et al.* (2013), que plantea la hipótesis de la existencia de otros arrecifes sumergidos que no habían sido descritos en el ámbito académico, pero cuya probable existencia acortaría las distancias entre los grandes sistemas coralinos del CASGM. A partir de este antecedente, desde 2014 se realizaron una serie de exploraciones en diversas partes de la costa veracruzana para ubicar y describir los arrecifes sumergidos existentes.

En el presente capítulo presentamos la recopilación cartográfica de los arrecifes sumergidos que han sido localizados en el CASGM, tanto por investigaciones propias como aquellos reportados en publicaciones científicas. Asimismo, se desglosa la relevancia que tienen los Arrecifes Coralinos Sumergidos (ACS) desde el punto de vista ecológico y humano para la región. Este trabajo tiene dos objetivos principales: consolidar el inventario de arrecifes coralinos del CASGM y generar información que permita considerar la importancia de estos ecosistemas ante las diferentes actividades humanas que se desarrollan en la costa veracruzana y el impacto que les ocasionan.

### ARRECIFES CORALINOS SUMERGIDOS (ACS)

Los arrecifes coralinos sumergidos (ACS) son aquellos arrecifes formados durante los períodos geológicos de menor nivel del mar, y que actualmente tienen poca o ninguna acumulación moderna de corales de crecimiento rápido. Se cree que quedaron sumergidos como resultado de las condiciones ambientales adversas asociadas con el aumento del nivel del mar durante la última desglaciación (Abbey & Webster, 2011). A diferencia de los arrecifes emergidos, los sumergidos carecen de la zonación típica establecida para los arrecifes, es decir, no cuentan con una cresta arrecifal y carecen de una laguna interna. Los ACS se encuentran en las plataformas continentales de las regiones tropicales del mundo, a diferentes profundidades que van desde unos pocos metros hasta más de 150. Debido a esto, tales estructuras generalmente no son visibles en fotografías aéreas o imágenes de satélite (Harris *et al.*, 2013), ni son perceptibles cuando

se navega por la superficie del mar ya que no presentan zonas de rompiente de olas.

Aunque los ACS han perdido su capacidad de crecimiento rápido, su importancia ecológica es notoria. En sitios como la Gran Barrera de Coral en Australia, se ha informado que estos arrecifes aumentan sustancialmente la disponibilidad de hábitats adecuados para el crecimiento del coral (Harris *et al.*, 2013) y pueden contribuir significativamente a la producción de larvas de coral (Thomas *et al.*, 2015). Además, existe la hipótesis de que estos tipos de entornos pueden servir como refugios para las especies afectadas por el calentamiento oceánico (Riegl & Piller, 2003; Bongaerts *et al.*, 2010; Harris *et al.*, 2013; Bridge *et al.*, 2014).

En la porción norte del golfo de México, se han descubierto varios ACS, siendo los *Flower Banks* los más prominentes y estudiados, los cuales tienen profundidades entre 36 y 52 m (Parker & Curray, 1956; Moore *et al.*, 1960; Brighth *et al.*, 1984). También se conoce la presencia de este tipo de ambientes en aguas poco profundas en la plataforma continental de la península de Florida (Rohmann *et al.*, 2005; Locker *et al.*, 2010).

En el mar Caribe, se ha informado sobre la presencia de ACS en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (Bongaerts *et al.*, 2010). Estudios recientes han descrito ACS en la península de Yucatán (Blanchon *et al.*, 2017), en Utila, Honduras (Andradi-Brown *et al.*, 2016), República Dominicana (Martínez-Battle *et al.*, 2003) entre otros.

En la plataforma continental frente al estado mexicano de Veracruz, donde se ubica el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, se ha reportado la presencia de ACS

en las inmediaciones de algunos arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (Emery, 1963; Tunnell, 2007); sin embargo, es hasta hace pocos años que este tipo de ecosistemas son estudiados y vistos como ambientes relevan-

tes, lo que ha extendido su búsqueda y estudio tanto en el Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan, como en el Sistema Arrecifal Veracruzano y zonas intermedias.

## LOS ARRECIFES SUMERGIDOS DEL CORREDOR ARRECIFAL DEL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO

A la fecha, y con la información disponible, el CASGM abarca desde Cabo Rojo, en la laguna de Tamiahua, hasta la región sur de la desembocadura del río Coatzacoalcos, siendo sus límites marinos el inicio del talud de la plataforma continental. Esta plataforma continental frente al estado de Veracruz, que es angosta (~ 6-33 km), somera (<70 m) y sinuosa, tiene una topografía compleja debido a la presencia de bajos, arrecifes, islas y cañones submarinos con dimensiones horizontales y profundidades variables (Ortiz-Lozano *et al*, 2013). La complejidad fisiográfica de esta región es relevante en la modificación de los flujos generados por los diferentes componentes de circulación que participan e influyen en la fluctuación de las condiciones oceanográficas dentro del golfo de México (parámetros hidrográficos, la interacción océano-atmósfera y la circulación), razones que han favorecido la permanencia y supervivencia de sistemas arrecifales (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008).

La identificación y ubicación de ACS en el CASGM reportados en este capítulo, tienen como referencia diferentes fuentes de información. Por una parte, se realizó una revisión bibliográfica de trabajos de corte científico (tesis, artículos, libros y capítulos de libro) que dieran cuenta de este tipo de ecosistemas.

A partir de esta literatura se obtuvieron coordenadas geográficas y/o mapas para conocer la posición y forma de los ACS. En el caso de los mapas, estos fueron georreferidos en el software ARCGIS 10.3 (ESRI, 2014) para posteriormente generar los polígonos correspondientes. Esta información fue complementada con Informes Técnicos, Manifestaciones de Impacto Ambiental y cartas batimétricas oficiales.

Con la finalidad de obtener información sobre aquellos ACS no reportados en la literatura, o de los cuales no se contaba con datos batimétricos, se realizaron visitas a las comunidades costeras de Tamiahua, Tuxpan, Tecolutla, Villa Rica, Chachalacas, Veracruz, Antón Lizardo, Mata de Uva, Las Barrancas, Salinas, Roca Partida, Arroyo de Lisa, Montepío, Sontecomapan, Arrecife y Zapotitlán, todas ellas en el estado de Veracruz. Las visitas se llevaron a cabo entre 2014 y 2018. En estas localidades se estableció comunicación con las cooperativas pesqueras y permisionarios, quienes proporcionaron las coordenadas geográficas de sitios de pesca donde reportan la presencia de posibles estructuras coralinas o coralino-rocosas. Dado que existen diferentes nombres comunes con los que los pescadores denominan a los ACS (bajos, ahogados, piedras, pedregales, lajas, cascajales, cordilleras),

se realizaron visitas a los puntos de pesca para efectuar inmersiones con equipo de buceo autónomo (SCUBA), con las cuales se verificó el tipo de sustrato presente, para poder determinar si se trataba de ACS.

Una vez ubicados los ACS, se utilizó una ecosonda GARMIN echOMAP CHIRP 92sv para obtener datos sobre la batimetría de éstos. Se elaboraron modelos digitales por interpolación (krigging) para cada arrecife mediante el software SURFER 14 (Golden Software) y ARCGIS 10.3 (ESRI). A partir de estos modelos, se delimitaron los polígonos respectivos y se calculó la superficie, perímetro y el área de éstos; además se realizaron perfiles para determinar los ejes morfológico y topográfico para dimensionar cada edificio arrecifal. A cada arrecife identificado se le asignó un nombre coincidente con las fuentes de información. En caso de no contar con un nombre, se les asignó una clave de identificación.

Con la finalidad de facilitar la presentación de la información, aquí dividimos el área de estudio en tres zonas geográficas (figura 1):

- **Zona 1 Norte.** Desde Cabo Rojo hasta Tecolutla.
- **Zona 2 Centro.** De Tecolutla hasta la desembocadura del río Papaloapan.
- **Zona 3 Sur.** De la desembocadura del río Papaloapan hasta la desembocadura del río Coatzacoalcos.

Para establecer la relevancia ambiental y humana de los ACS, se realizó una revisión bibliográfica tanto de literatura científica como de leyes, normas y decretos oficiales relacionados con el tema. La identificación de amenazas sobre los ACS descansó en el análisis bibliográfico y en documentos oficiales de la Secretaría de Energía (SENER), y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) relacionados con la exploración y explotación de hidrocarburos, y con los di-

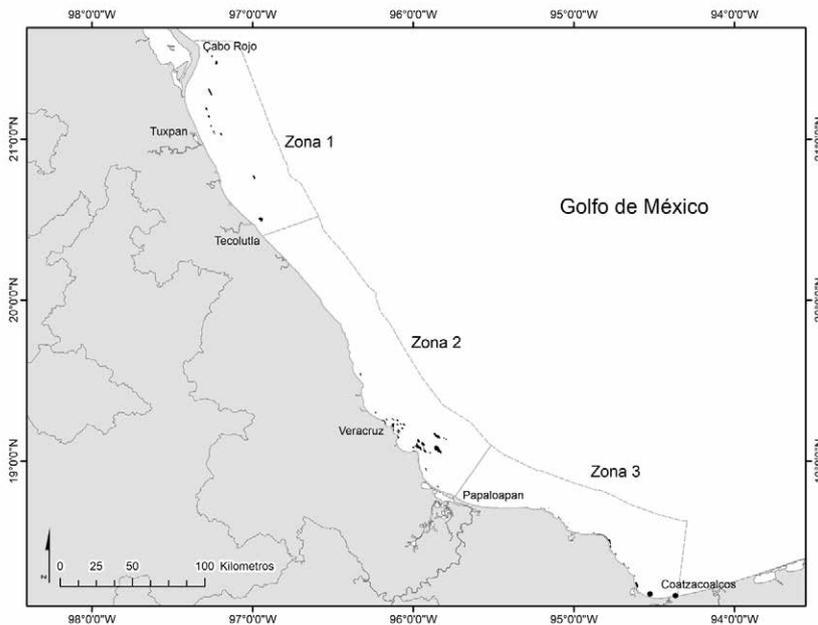


Figura 1. Área de estudio. Zonificación.

ferentes proyectos de desarrollo portuario y energético.

A la fecha de este escrito, se tienen identificados 30 arrecifes sumergidos en el CASGM.

Estos están distribuidos principalmente en los sistemas arrecifales Lobos-Tuxpan y Arrecifal Veracruzano (tabla 1).

**Tabla 1.** Arrecifes Sumergidos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México.

#	Arrecife	Centroide		Área Total (ha)	Perímetro (km)	Eje Morfológico (Km)	Eje Topográfico (km)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Autores
		latitud	longitud							
1	Corazones	21.291328	-97.263815	237.18	10.62	0.756	4.7	17	28	Este trabajo
2	Oro Verde	21.185002	-97.28532	161.789	5.364	1.049	2.094	11	24	Este trabajo
3	Pantepec N	21.0444373	-97.24086	100.990	4.790	1.003	1.324	14	25	Este trabajo
4	Pantepec S	21.034532	-97.235121	47.107	3.300	0.668	1.030	17	26	Este trabajo
5	Blake	20.763136	-96.990064	124.487	5.018	0.787	2.229	9	30	Martos, 2010
6	Piedras Altas	20.501137	-96.948018	388.130	9.550	2.030	2.795	19	32	Este trabajo
7	Amarillos	19.537674	-96.326878	66.990	3.880	0.580	1.440	-6	-26	Colmenares-Campos, 2015
8	Monte Negro	19.302556	-96.23494	20.734	1.788	0.370	0.654	-17	-23	Colmenares-Campos, 2015
9	La Loma	19.259636	-96.164873	29.855	2.622	0.561	0.645	-13	-30	Colmenares-Campos, 2015
10	Galleguilla N	19.262621	-96.130127	4.606	0.859	0.194	0.311	-32	-36	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
11	Galleguilla centro	19.261842	-96.127099	7.886	1.201	0.259	0.440	-30	-38	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
12	Galleguilla sur	19.258021	-96.121931	14.569	1.753	0.316	0.634	-23	-39	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
13	Blanquilla n	19.254457	-96.099126	50.088	3.351	0.537	1.258	-23	-42	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
14	Blanquilla c	19.239295	-96.090245	35.463	2.843	0.514	0.947	-15	-39	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
15	Blanquilla s	19.232241	-96.078673	26.745	2.365	0.383	0.858	-23	-39	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
16	Mersey	19.18707	-96.102881	3.762	1.183	0.124	0.438	-1	-14	Tunell Jr., 2007
17	Terranova	19.183929	-96.095374	8.026	1.468	0.283	0.547	-1	-15	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
18	Pedregales n	19.178776	-96.007482	20.946	2.944	0.240	1.176	-28	-38	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
19	Pedregales c	19.169811	-95.992815	27.823	2.313	0.559	0.753	-22	-40	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
20	Pedregales s	19.1694	-95.979688	26.104	2.437	0.405	0.907	-29	-41	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
21	La Palma	-95.967858	162.780	7.817	1.128	1.754	-4	-26		Mapel-Hernández, 2014
22	Sargazo	19.099243	-95.945813	66.347	7.986	0.521	2.100	-2	-22	Mapel-Hernández, 2014
23	Periférico	19.08329	-95.934102	5.236	1.211	0.166	0.450	-2	-16	Mapel-Hernández, 2014

**Tabla 1.** Arrecifes Sumergidos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México.

#	Arrecife	Centroide		Área Total (ha)	Perímetro (km)	Eje Morfológico (Km)	Eje Topográfico (km)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Autores
		latitud	longitud							
24	Rizo Sureste	19.053444	-95.895135	40.444	2.823	0.600	0.976	-18	-29	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018
25	Picos Norte	18.953379	-95.922279	14.789	1.946	0.222	0.761	-10	-16	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018B
26	Picos Sur	18.946149	-95.919452	17.489	2.566	0.371	0.807	-12	-15	Ortiz-Lozano <i>et al.</i> , 2018B
27	Camaronera	18.841135	-95.845937	0.635	0.379	0.111	0.095	-17	-14	Este trabajo
28	Montepio poza	18.65227028	-95.09477061	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
29	Palo seco	18.17586111	-94.52563889	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
30	Tripie	18.16666926	-94.3675	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

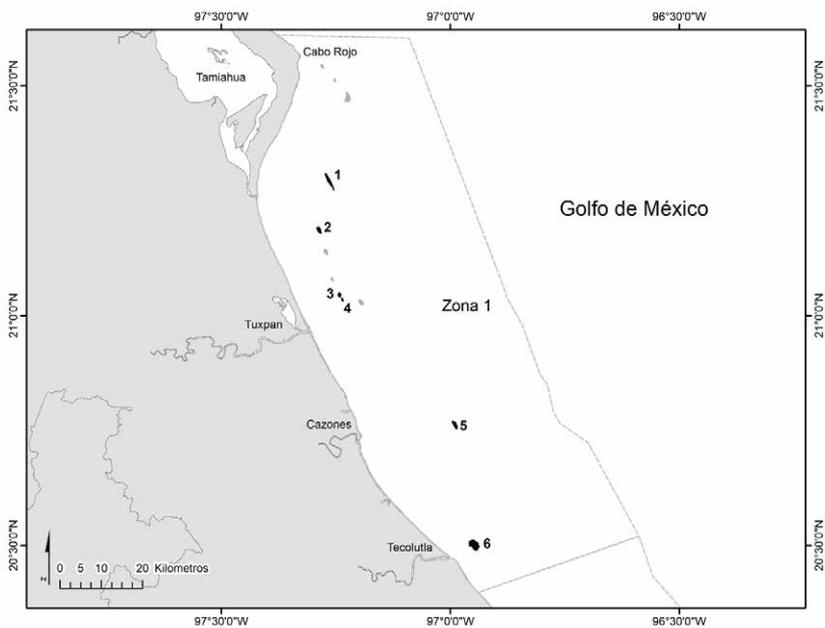
### ZONA I NORTE (FIGURA 2)

Esta zona, representada por el Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan, cuenta con al menos seis ACS: Corazones, Oro Verde, Pantepec Norte, Pantepec Sur, Blake y Piedras Altas (figuras 3 a 8).

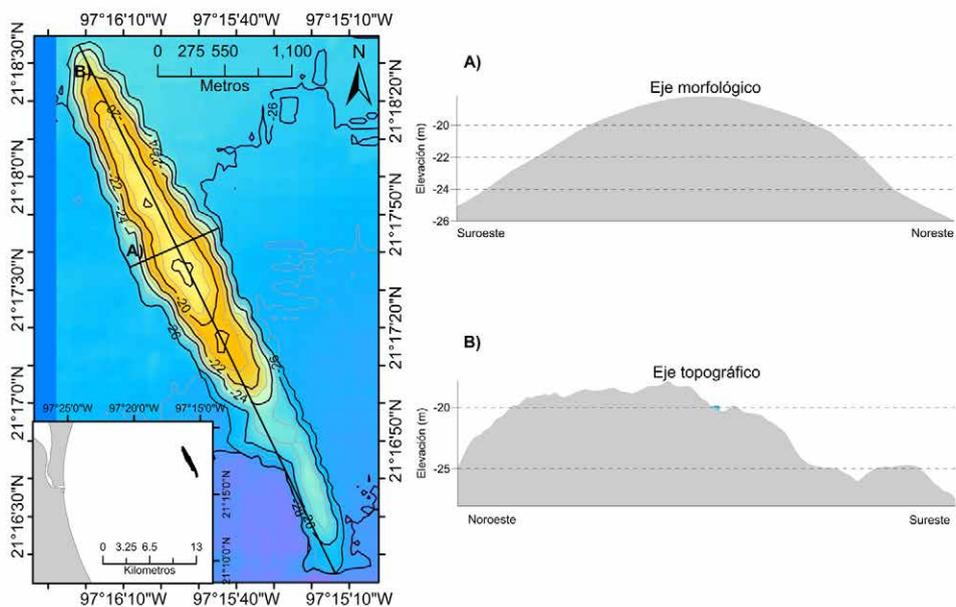
El arrecife sumergido Corazones (figura 3), ubicado entre los arrecifes emergidos Lobos y Tanhuijo, es el que más recientemente se ha descubierto en la zona (marzo de 2019), gracias a la información proporcionada por prestadores de servicios de buceo deportivo de Tamiagua. Presenta una forma poco común, ya que, si bien crece de forma alargada y paralela a la costa como la mayoría de los arrecifes del CASGM, es bastante angosto con respecto a su longitud: 4.7 km de largo y 0.756 km de ancho. Este arrecife se encuentra fuera del APFF Lobos Tuxpan, justo entre los dos polígonos que forman el Área Natural Protegida (ANP). Después del arrecife Piedras Altas, este es el segundo arrecife sumergido de mayor tamaño en todo el CASGM, con una superficie de 237 Ha. Su presencia permite observar que el Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan en realidad no está formado por dos conjuntos de arre-

cifes separados, sino que existe un continuo que une a los arrecifes del norte del ANP con los del sur, siendo el arrecife Corazones junto con Oro Verde los que “unen” dichas zonas. Cabe resaltar que aún se carece de información biológica sobre este arrecife.

El arrecife sumergido Oro Verde, ubicado al norte del arrecife emergido Tanhuijo (figura 4), fue descrito por primera vez por Cortés Useche (2014), quien hace una caracterización de la estructura física del arrecife y de la composición biótica del mismo. El arrecife sumergido Pantepec, fue reconocido en el decreto de creación de esta área natural protegida; sin embargo, la poligonal del área natural no incluyó la totalidad del mismo (Cortés Useché, 2014). En el levantamiento batimétrico de este arrecife, realizado dentro de las actividades de nuestro equipo de trabajo, se descubrió que en realidad existen dos arrecifes aledaños que nombramos Pantepec Norte y Pantepec Sur (figuras 5 y 6). Al sur del APFF Lobos-Tuxpan, se ubican los ACS Blake y Piedras Altas; Martos (2010) presenta inicialmente un polígono correspondiente al arrecife Blake (figura 7 y 8). En cuanto al



**Figura 2.** Arrecifes sumergidos Zona 1 Norte. En la Tabla 1 se presentan los nombres de los arrecifes de acuerdo a la numeración.



**Figura 3.** Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Corazones.

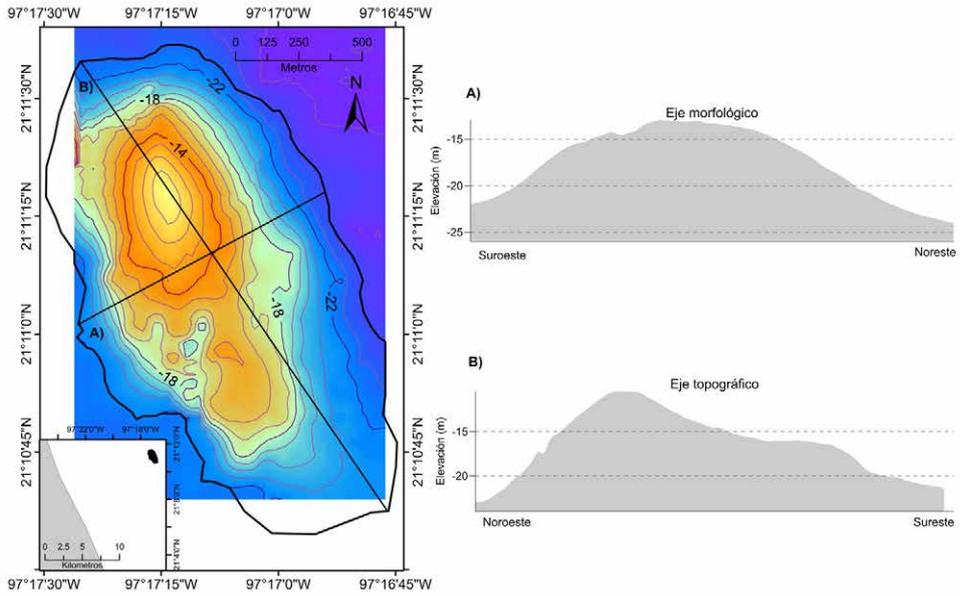


Figura 4. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Oro Verde.

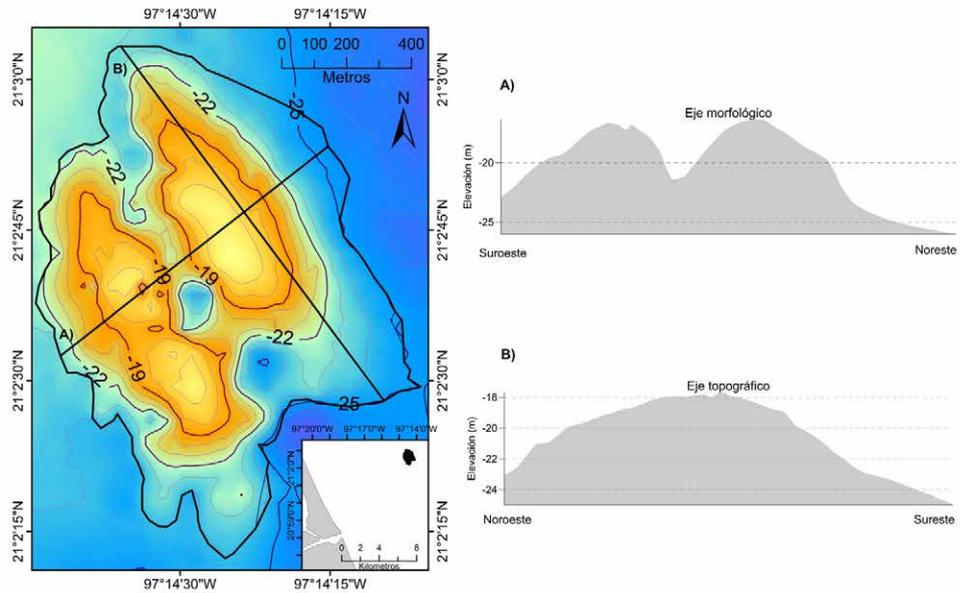


Figura 5. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Pantepec N.

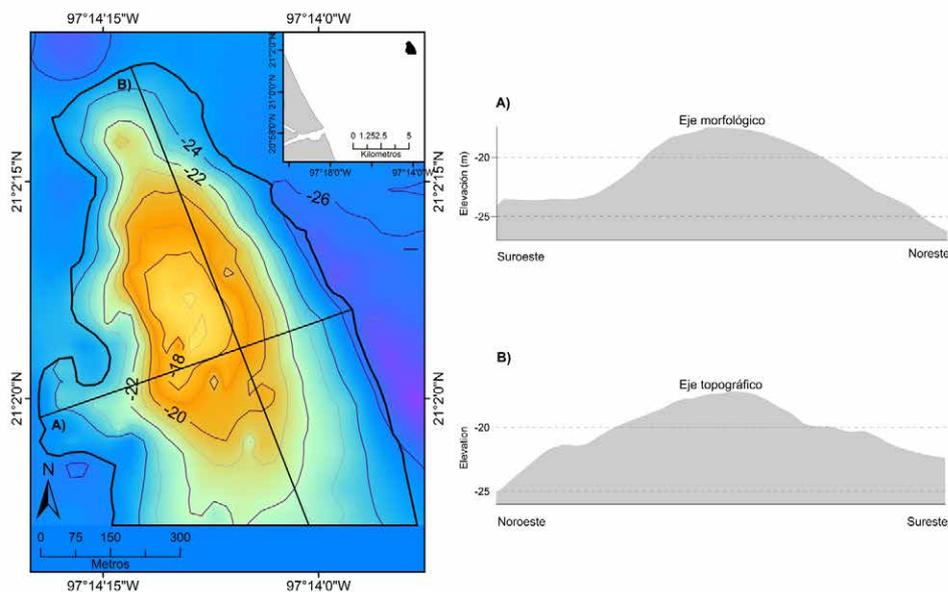


Figura 6. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Pantepec S

arrecife Piedras Altas, se trata de un arrecife sumergido conocido ampliamente por los pescadores, ya que se ubica justo frente a la desembocadura del río Tecolutla. La presencia de este arrecife es mencionada en la guía turística “Veracruz y su turismo submarino” (Friscione, s/f), pero es hasta el presente capítulo que se presenta una batimetría del mismo. En sí, este es el mayor arrecife sumergido de reciente descubrimiento del CASGM reportado a la fecha, con una superficie mayor a las 300 Ha.

En esa misma zona se tuvieron reportes de dos probables arrecifes, llamados por los pescadores Chile Frío y La Loma; sin embargo, después de realizar exploraciones en campo se verificó que estos sitios corresponden a áreas de fondo rocoso de probable origen biogénico ubicados a profundidades entre 35 y 40 m, pero carentes de rugosidad y sin conformar

edificios arrecifales como tal. No obstante, es necesario realizar levantamientos batimétricos más extensos en la zona, así como exploraciones con buceo o instrumentos especializados para profundidades mayores a 30 m como vehículos de operación remota, para descartar definitivamente su presencia.

Asimismo, se cuenta con reportes no verificados de prestadores de servicios turísticos sobre probable presencia de “bajos” al norte de la APFF Lobos Tuxpan, entre el río Pánuco y la laguna de Tamiahua.

### ZONA 2 CENTRO (FIGURA 9)

Es la zona con mayor número de estructuras sumergidas identificadas, con 21 registros (figuras 10 a 30). La región que abarca del sur de Tecolutla hasta Villa Rica aún no ha sido explorada en su totalidad, pero se cree que pueden existir arrecifes sumergidos de tipo

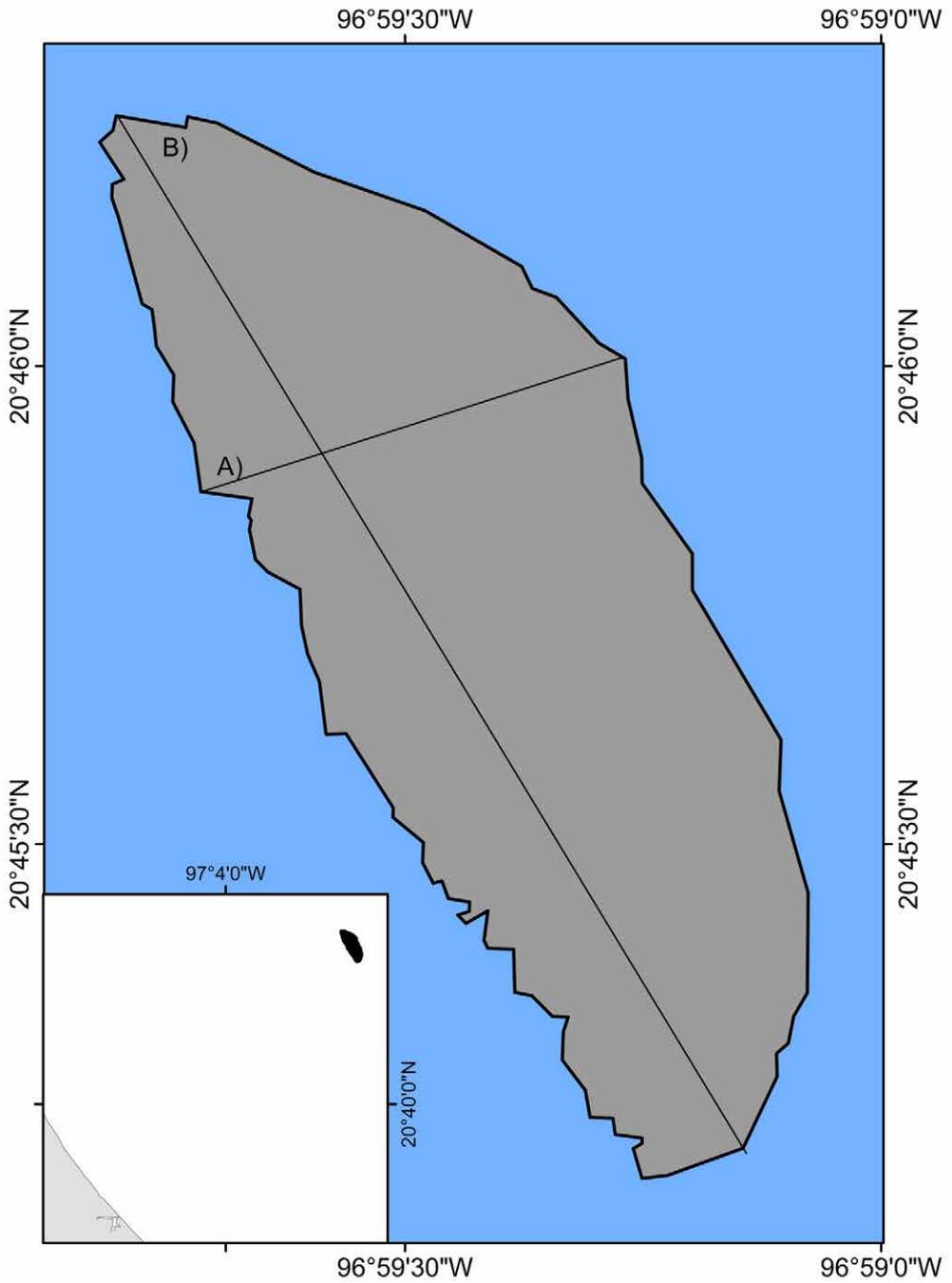
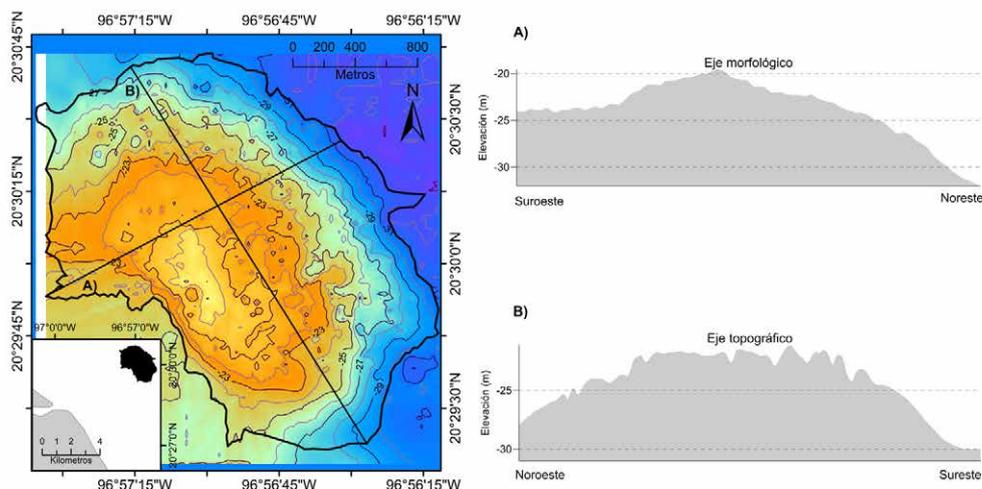


Figura 7. Polígono del arrecife Blake.



**Figura 8.** Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Piedras Altas.

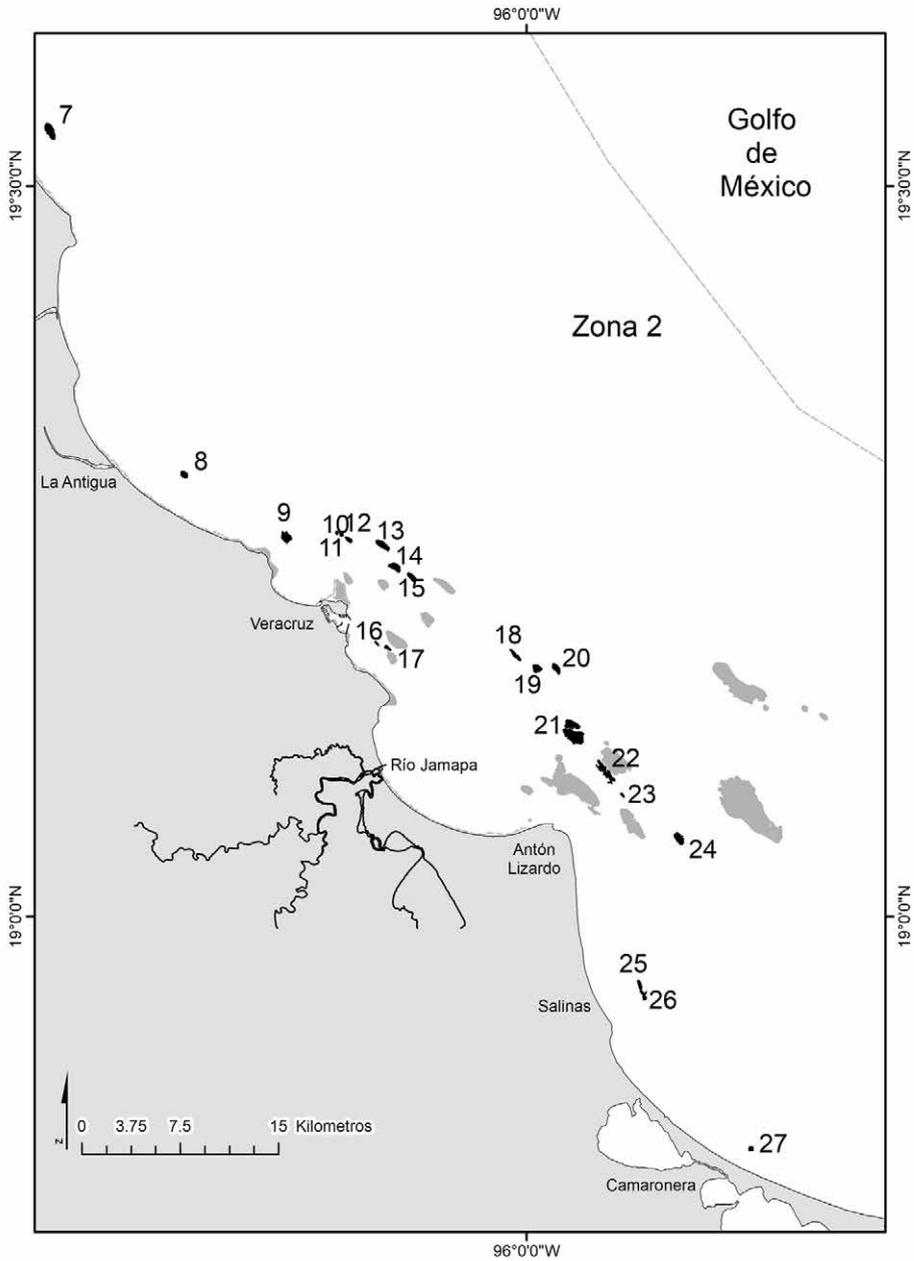
coralino rocoso en el área cercana a Laguna Verde, frente a playa Muñecos y Boca Andrea, así como en Punta Delgada, dado que es común encontrar fragmentos de corales escleractíneos en las playas de la zona.

El arrecife más norteño identificado hasta el momento en esta zona central es el arrecife coralino Amarillos (figura 10). Si bien este arrecife es conocido por los prestadores de servicios de buceo deportivo y los pescadores, es hasta el trabajo de Colmenares Campos (2015) que se realiza una batimetría del mismo y se da a conocer en el ámbito académico. Caso similar sucede con el arrecife Monte Negro, al sur de la desembocadura del río La Antigua.

Dentro del polígono del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano se lograron identificar a través de diversas fuentes 16 ACS, de los cuales algunos fueron ya considerados en el programa del manejo del ANP. Estos arrecifes pueden estar aledaños a los arreci-

fes emergidos a manera de satélites (Tunnell, 1988), o bien pueden crecer de forma independiente. Aquellos que no se encuentran junto a arrecifes emergidos, tienden a agruparse en tríadas, como es el caso de los arrecifes al norte de los arrecifes Gallega y Blanquilla, así como los arrecifes Los Pedregales (figura 9).

Al sur del PNSAV, fuera de la poligonal de protección, entre las localidades de Antón Lizardo y Arbolillo, en el municipio de Alvarado, nuevas exploraciones han permitido detectar la presencia de más estructuras sumergidas. Al momento, una de ellas es de origen coralino, y es llamada por los pescadores “Camaronera” (figura 30). Se ha hallado también un tipo de arrecife poco convencional para el golfo de México, llamado Los Picos (Ortiz-Lozano *et al.*, 2018b). Se trata de dos arrecifes sumergidos conformados por estructuras semejantes a dunas semiconsolidadas, y que tienen una alta cobertura de esponjas



**Figura 9.** Arrecifes sumergidos Zona 2 Centro. En la tabla 1 se presentan los nombres de los arrecifes de acuerdo a la numeración.

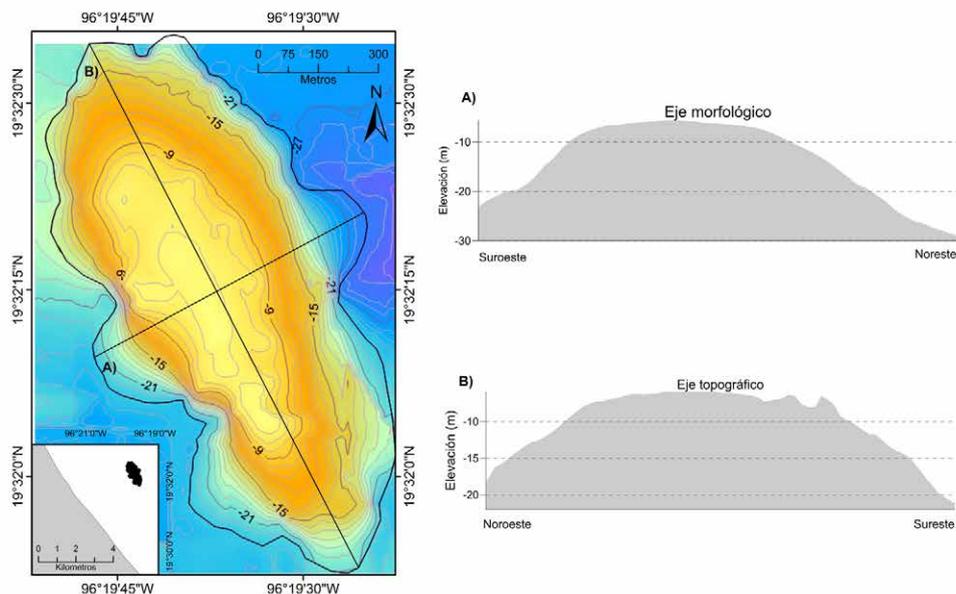


Figura 10. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Amarillos.

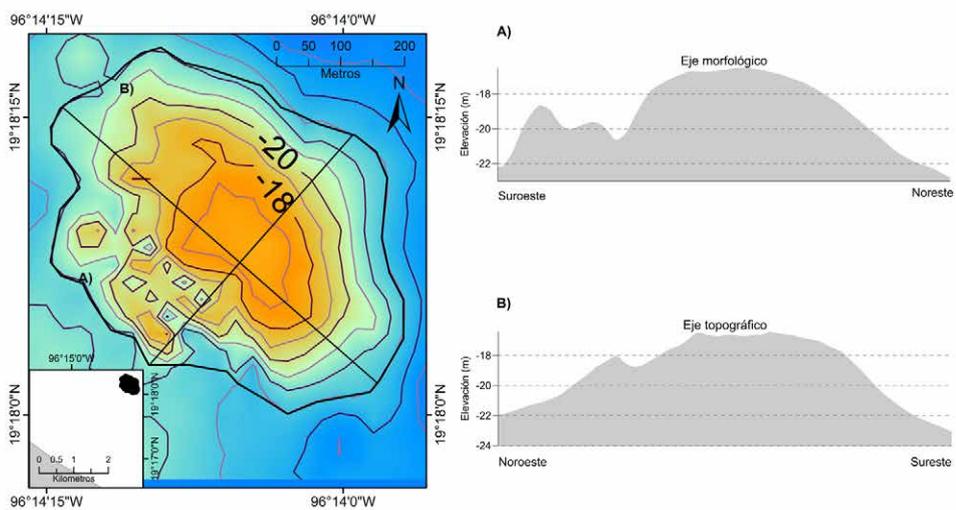


Figura 11. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Monte Negro.

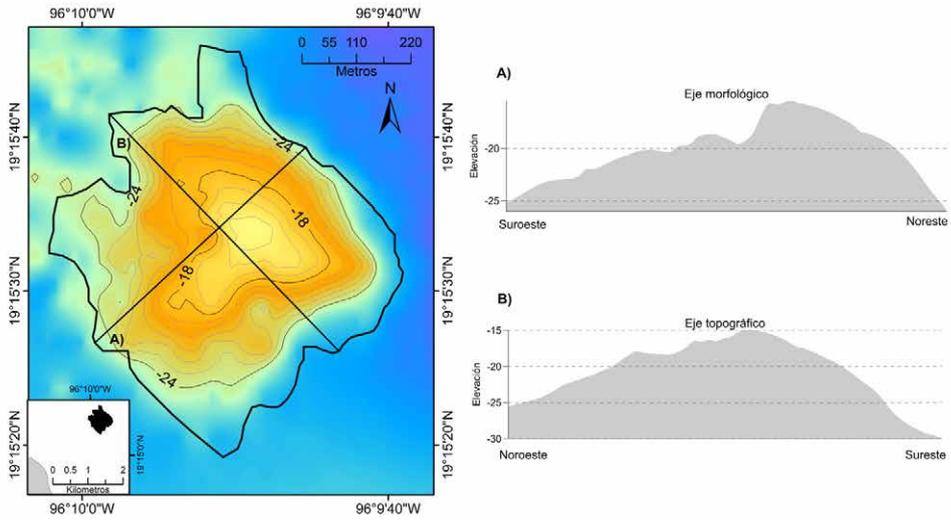


Figura 12. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife La Loma.

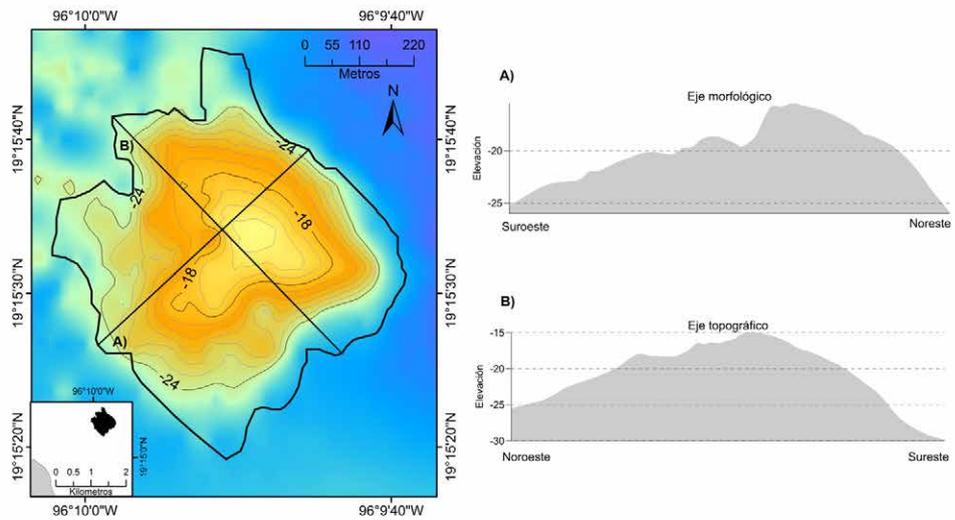


Figura 13. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Galleguilla N.

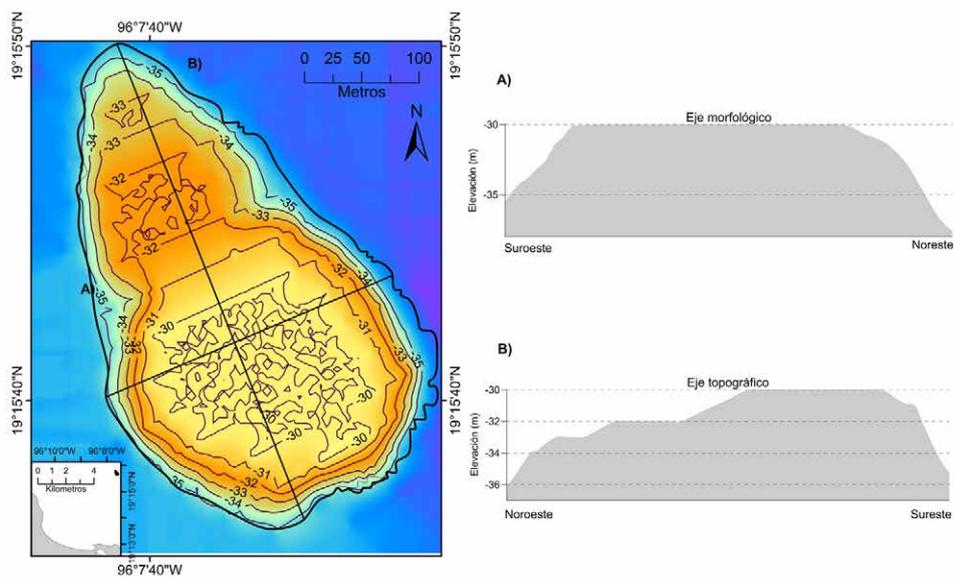


Figura 14. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Galleguilla C.

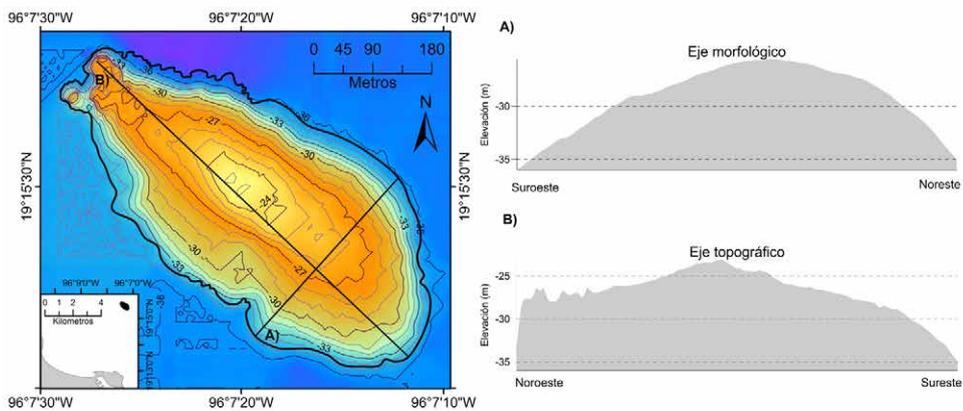


Figura 15. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Galleguilla S.

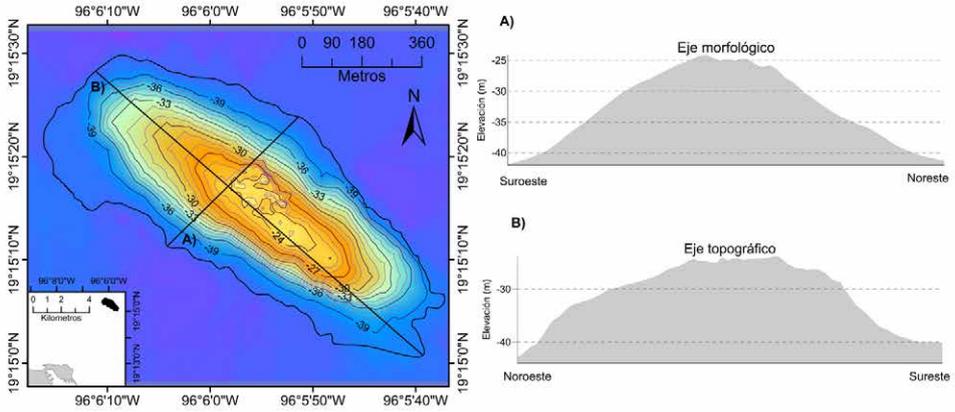


Figura 16. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Blanquilla N.

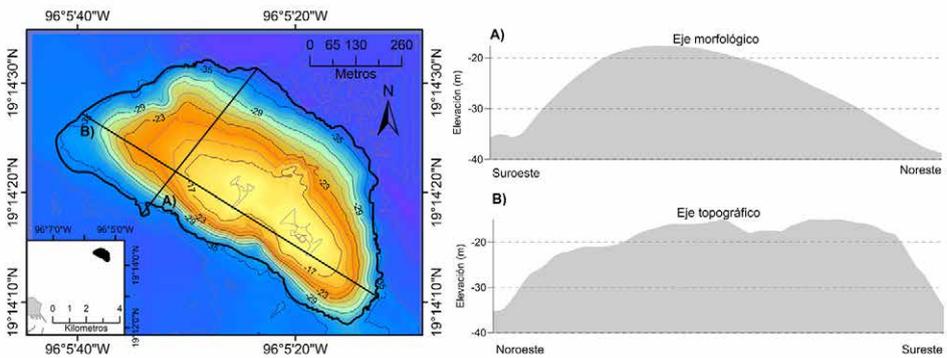


Figura 17. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Blanquilla C.

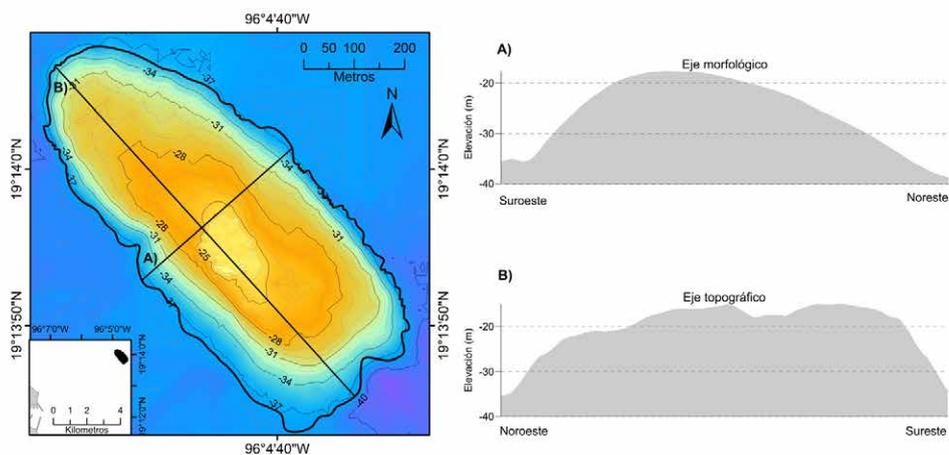


Figura 18. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Blanquilla S.

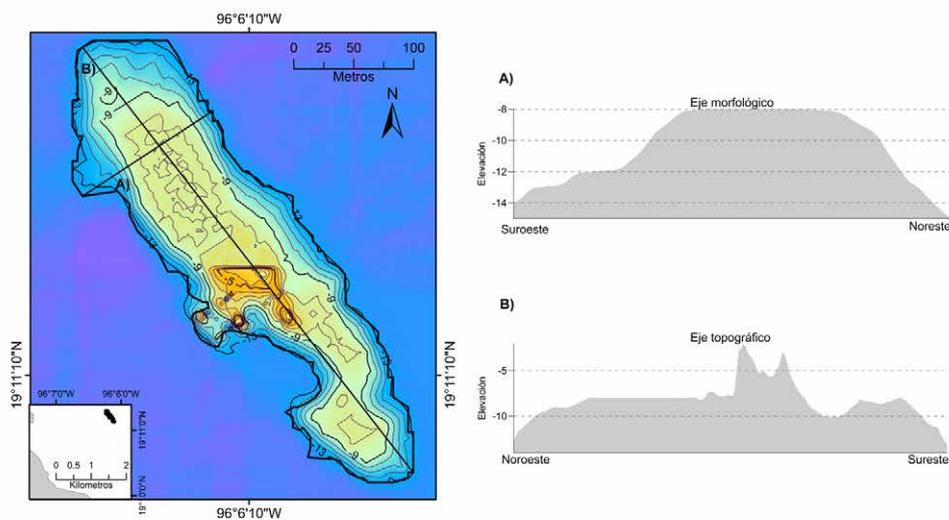


Figura 19. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Mersey.

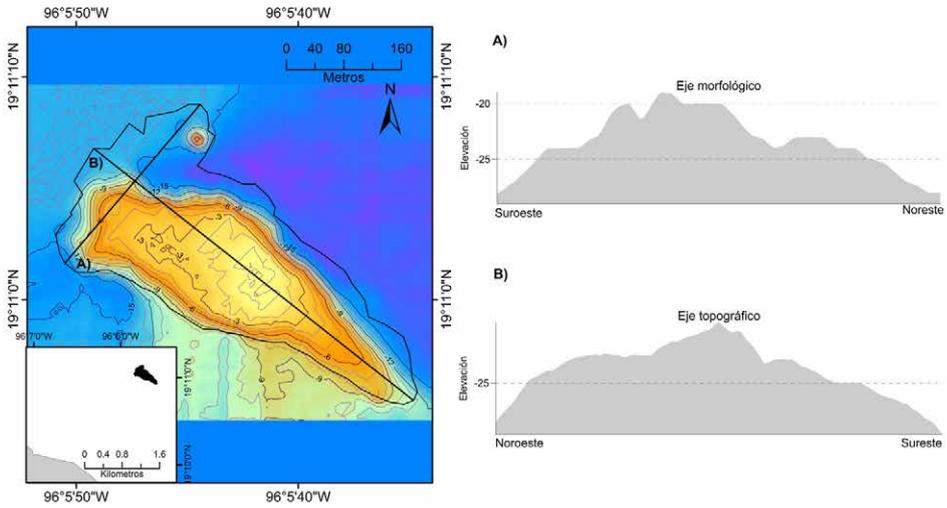


Figura 20. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Terranova.

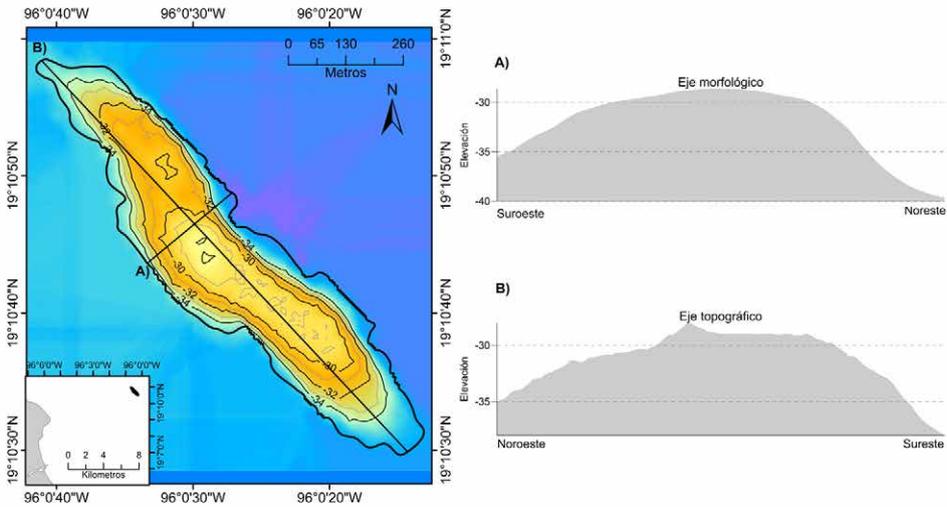


Figura 21. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Pedregales N.

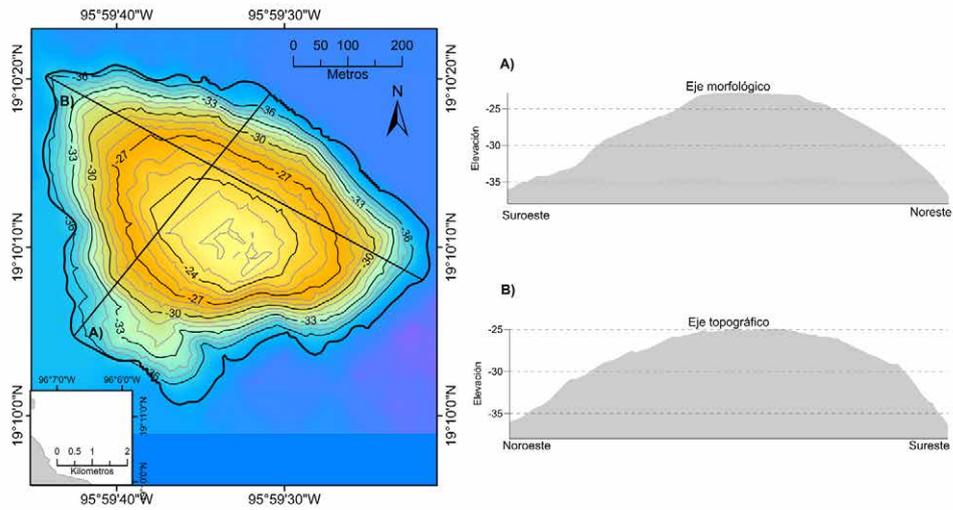


Figura 22. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Pedregales C.

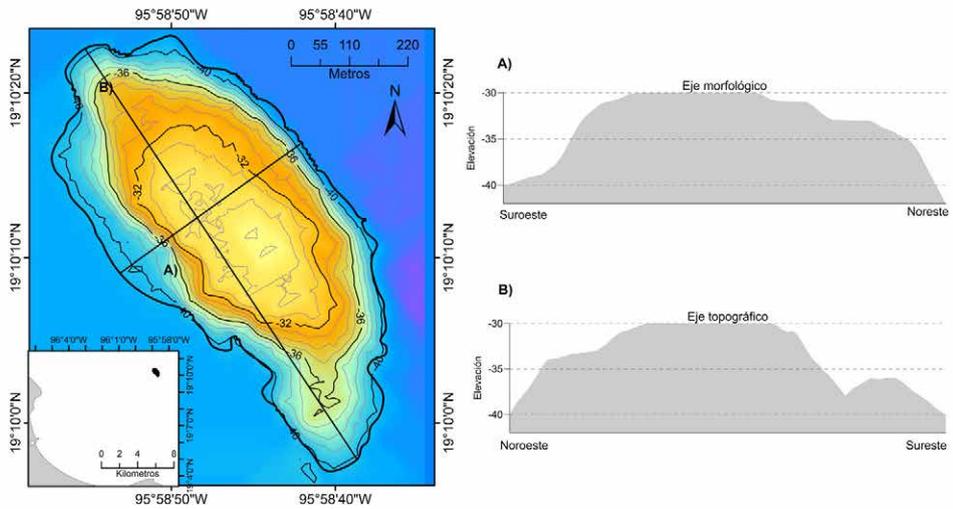


Figura 23. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Pedregales S.

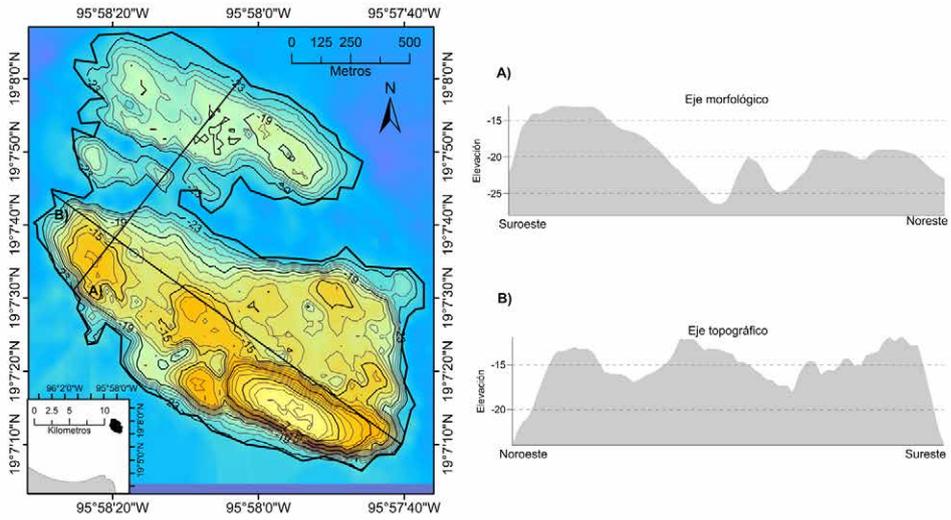


Figura 24. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife La Palma.

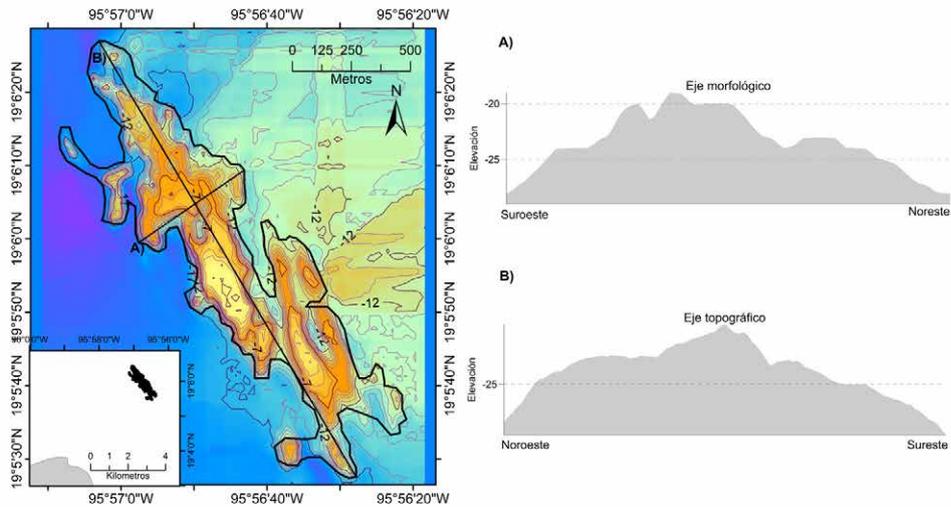


Figura 25. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Sargazo.

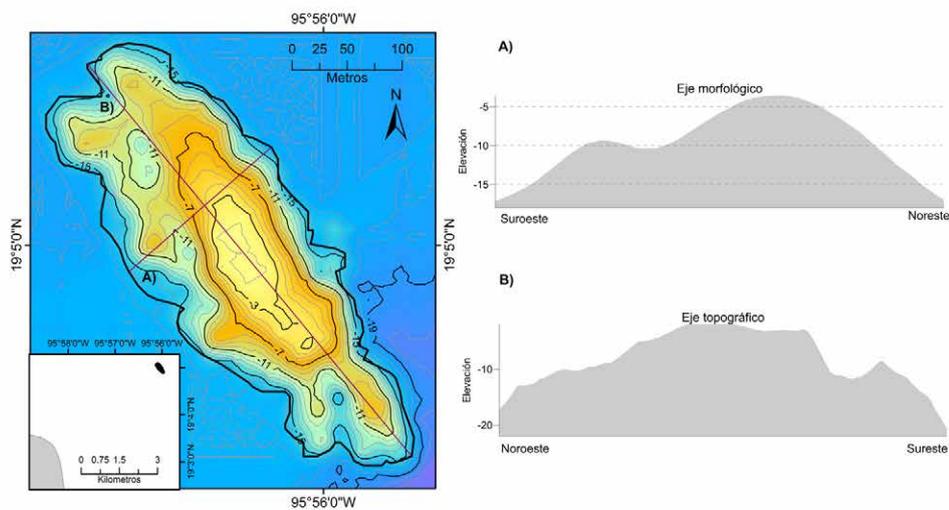


Figura 26. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Periférico.

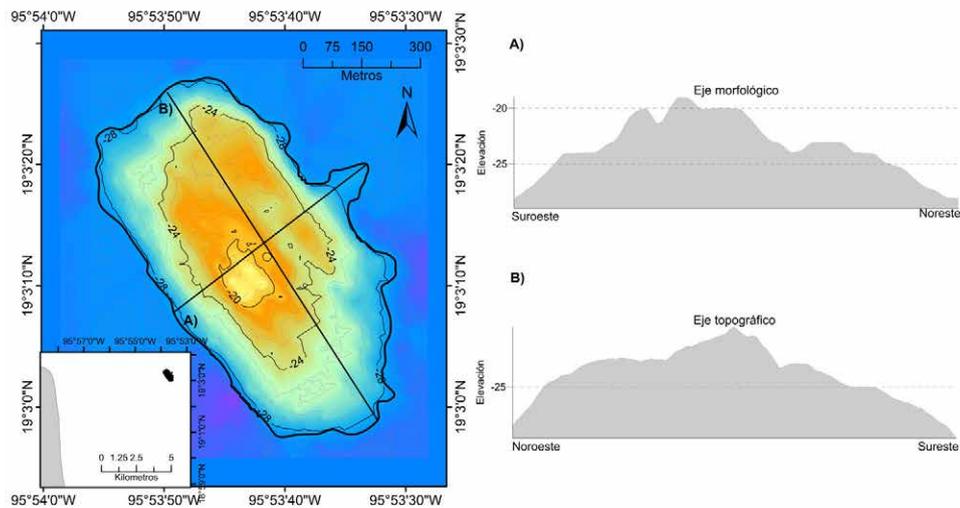


Figura 27. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Rizo Sureste.

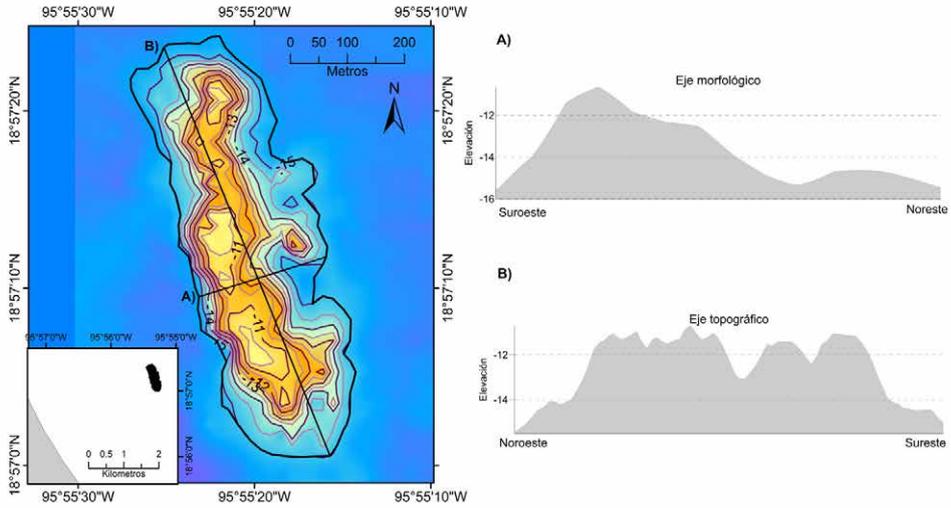


Figura 28. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Picos Norte.

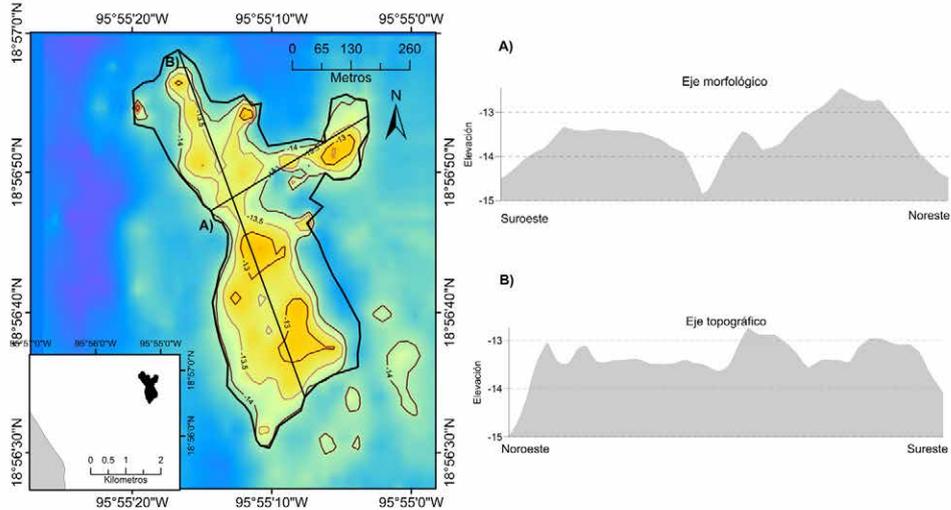


Figura 29. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Picos Sur.

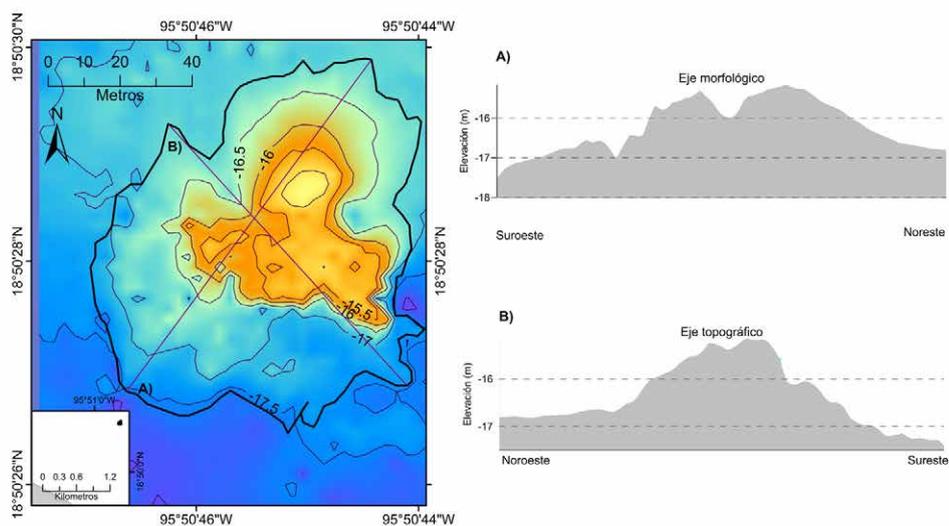


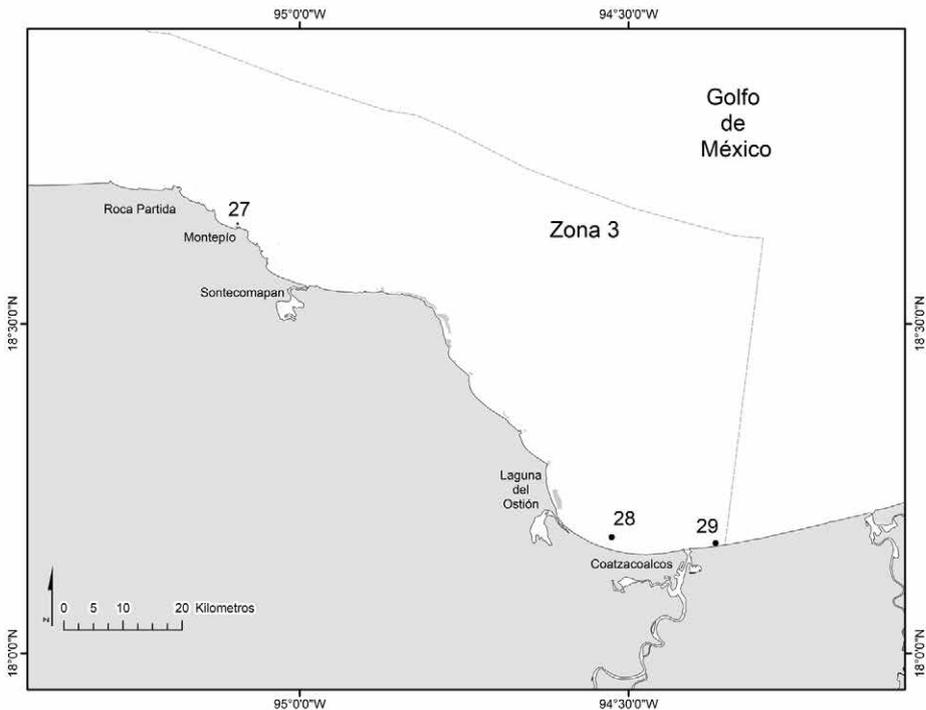
Figura 30. Polígono, batimetría, eje morfológico y eje topográfico del arrecife Camaronera.

(Martínez-Vargas, 2018) y muy baja presencia de corales escleractíneos, además de albergar visiblemente una gran riqueza de especies ícticas.

### ZONA 3 SUR (FIGURA 31)

En esta zona, representada por la región de Los Tuxtlas, la literatura menciona la presencia de diferentes arrecifes rocoso-coralinos, los cuales se encuentran aledaños al litoral y de una serie de arrecifes coralinos de tipo bordeante. En sentido estricto, a la fecha solamente se tiene confirmada la presencia de tres

arrecifes sumergidos. Uno de ellos es de tipo rocoso-coralino y se ubica enfrente de la localidad de Montepío en el sitio conocido como “La Poza”. El segundo es un arrecife ubicado entre la laguna del Ostión y la desembocadura del río Coatzacoalcos, conocido como “Palo Seco”, el cual es de conformación rocoso-coralina. El tercero es conocido como “Tripié”, de tipo rocoso y que se encuentra al sur de la desembocadura del río Coatzacoalcos. Además, se cuenta con algunos registros no verificados de una zona de “cascajales” frente a la laguna de Sontecomapan.



**Figura 31.** Arrecifes sumergidos Zona 3 Sur. En la tabla 1 se presentan los nombres de los arrecifes de acuerdo a la numeración.

## RELEVANCIA AMBIENTAL DE LOS ACS

El mantenimiento de cualquier población biológica depende en gran medida de tres procesos básicos: la capacidad de reproducción de los organismos, el reclutamiento y la conectividad con otras poblaciones a diferentes escalas locales y regionales (Santiago-Valentin & Rodríguez-Troncoso, 2016). La autorreplicación en los arrecifes de coral permite el mantenimiento y crecimiento de las poblaciones locales debido a los procesos de retención, mientras que el transporte de larvas a áreas cercanas y distantes favorece la conectividad de la población. (Black *et al.*, 1991; Cowen *et al.*, 2003). La conectividad en las poblaciones de organismos marinos

es un tema relevante, ya que los ecosistemas oceánicos se han considerado “sistemas abiertos”, conectados entre sí, debido a la ausencia de barreras físicas aparentes y a la existencia de una fase del ciclo vital de organismos dedicados a la dispersión (Crooks & Sanjayan, 2006). En la actualidad, el estudio de la conectividad de las poblaciones marinas ha puesto especial énfasis en los organismos que habitan en los arrecifes de coral, porque estos ecosistemas producen una gran parte de la biomasa presente en los océanos (Crooks & Sanjayan, 2006).

En los animales de arrecife (esponjas, corales, anémonas, crustáceos, peces, etc.), la

conexión entre las subpoblaciones vecinas se produce principalmente por la migración larvaria, que es la etapa de vida durante la cual los organismos se suspenden en el agua, ya que viven cerca del fondo marino. Se mueven muy poco en la fase adulta, por lo que se consideran especies bentónicas relativamente sedentarias (Cowen & Sponaugle, 2009). Los estudios sobre conectividad desde un punto de vista biogeográfico permiten determinar si los límites de la población están dados por barreras físicas o por la tolerancia fisiológica que los individuos tienen para dispersarse (Victor, 1991). Es probable que la intensidad y la escala de las perturbaciones humanas en los sistemas marinos reduzcan el potencial de conectividad entre subpoblaciones debido a la fragmentación del hábitat; por lo tanto, la capacidad de una especie particular para hacer frente a las amenazas de extinción dependerá en gran medida de sus capacidades dispersivas (Cowen & Sponaugle, 2009). El problema actual es que se sabe muy poco acerca de las distancias de dispersión larvaria de especies sobreexplotadas, amenazadas o invasoras; esta falta de conocimiento hace que sea difícil evaluar sus niveles de conectividad, que es un aspecto crítico tanto para el diseño de las redes de reservas marinas como para el desarrollo de estrategias de conservación (Cowen & Sponaugle, 2009).

En ACS de Australia, se ha demostrado que este tipo de ecosistemas puede funcionar como un proveedor de larvas de coral para arrecifes emergidos y poco profundos (Thomas *et al.*, 2015). De acuerdo a Carter *et al.* (1994), Sancho *et al.* (2000), y Kadison *et al.*

(2009), se han observado arrecifes de coral profundos bien desarrollados y con áreas de alta complejidad topográfica caracterizada por salientes, socavaduras y cuevas en la mayoría de las islas del Caribe, donde se sugiere que ofrecen refugio de los depredadores durante los períodos previos al desove y durante la selección activa de parejas mediante la agregación especies. Desde la perspectiva de la conservación, la presencia de ACS en el CASGM es de gran relevancia para comprender el funcionamiento y la conectividad ecológica entre los arrecifes que lo integran. Se podría esperar que debido a la proximidad entre los sistemas de arrecifes conocidos y distancias acortadas por los ACS, se generen las condiciones ideales para formar una conexión importante para el funcionamiento del ecosistema de la región (Santiago-Valentín & Rodríguez-Troncoso, 2016).

Thomas *et al.* (2015), sugieren que los arrecifes sumergidos pueden contribuir significativamente a la producción de larvas y, por lo tanto, deben considerarse en los análisis de conectividad. El ambiente hidrodinámico en los arrecifes sumergidos da como resultado que las larvas se dispersen a mayores distancias, lo que podría aumentar su importancia como fuente de reclutas de corales después de las perturbaciones, debido a que resultan menos expuestos a estas; dada la importancia de la conectividad para la resistencia de los arrecifes de coral, se debe prestar mayor atención a la identificación y protección de los arrecifes sumergidos y otros hábitats más profundos (Thomas *et al.*, 2015).

## IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LOS ACS

La pesca es una de las actividades más relevantes en Veracruz (Jiménez-Badillo, 2008; Arceo *et al.*, 2010; Reyna-González *et al.*, 2014; CONAPESCA, 2017). Hasta 2013 se contaba con el registro de 42 192 pescadores, aunque para el 2017 la población disminuyó hasta 40 815 (CONAPESCA, 2013; 2017). De acuerdo con la Comisión Nacional de Pesca (CONAPESCA), para 2017 se tiene el registro de 43 especies principales en la captura en el estado de Veracruz, de las cuales el robalo, camarón, peto y huachinango destacan en cuanto al valor comercial; mientras que el jurel, la lebrancha, peto y robalo son las que destacan por peso desembarcado. Del total de especies, el 50 % (24 especies) se encuentran registradas como dependientes o asociadas a arrecifes (Jiménez-Badillo *et al.*, 2006), porcentaje que

aumentaría en el caso de que se retomara el registro por especies y no se englobaran en grandes categorías como “escama” y “otras”.

Es indudable la importancia de los ecosistemas arrecifales para la extracción de alimento; sin embargo, a la fecha se desconoce específicamente el uso real que hacen los pescadores de los ACS. De hecho, en el caso del PNSAV, todos los ACS se encuentran en zonas que, de acuerdo al plan de manejo de esta ANP, son áreas para la pesca en pequeña escala. Esto es relevante cuando se considera que son precisamente las actividades de pesca las que causaron una pérdida significativa en la abundancia de especies de interés comercial en el área (Jiménez-Badillo, 2008; Ortiz-Lozano, 2012).

## AMENAZAS SOBRE LOS ARRECIFES SUMERGIDOS

El desconocimiento de la presencia, distribución e importancia de los ACS en el CASGM, hace a estos ecosistemas altamente vulnerables ante las diferentes actividades humanas que se desarrollan en las costas veracruzanas. Independientemente del impacto de fenómenos globales como el cambio climático, o locales como la actividad pesquera que puede observarse en sitios como los arrecifes Blake y Piedras Altas, en la zona norte, existen otras actividades de alto impacto y riesgo que amenazan la viabilidad de estos ambientes. Estas actividades son el tráfico marítimo (y sus puertos asociados) y la industria petrolera.

### TRÁFICO MARÍTIMO

Existen tres impactos ambientales comunes en las zonas de arrecifes cercanas a los puertos (Ortiz-Lozano *et al.*, 2018a): daños por anclaje, modificaciones de la línea de costa y encallamientos. Resalta, en primera instancia, el caso del PNSAV donde la actividad portuaria es intensa debido a que el Puerto de Veracruz recibe un promedio anual de 1 700 embarcaciones (APIVER, 2018). El daño a los arrecifes de coral por el anclaje de embarcaciones ha sido ampliamente documentado en todo el mundo (Davis, 1977; Dinsdale & Harriot, 2004; Beeden *et al.*, 2014) y puede

causar daños catastróficos en un solo evento (Smith, 1988). Tres ACS del PNSAV (arrecifes los Pedregales) están adyacentes a la zona de anclaje utilizada por los buques que esperan ingresar al puerto de Veracruz (DOF, 1998). Aunque los arrecifes que se encuentran en esa área están ubicados a profundidades de más de 25 m, el uso de anclajes puede comprometer su integridad física. Un caso similar puede ocurrir con la finalización del proyecto de expansión del Puerto de Veracruz en la bahía de Vergara, ya que la zona de anclaje propuesta para este proyecto (ARGO y APIVER, 2013) está ubicada entre los arrecifes de La Loma y Galleguilla Norte, Centro y Sur (Ortiz-Lozano *et al.*, 2018).

Los encallamientos en los arrecifes de coral reducen la resiliencia de estos ecosistemas (Game *et al.*, 2008). El alcance de su impacto depende de la estructura de la comunidad del arrecife y de la geomorfología y profundidad del sitio (Connell, 1978; 1997; Hughes, 1989; Karlson & Hurd, 1993). Los daños a estos ecosistemas son causados principalmente por los buques que hacen contacto con el fondo, el lavado de la hélice y el arrastre de cables durante las operaciones de salvamento y reabastecimiento (Gittings *et al.*, 1993), fragmentando los sistemas de coral y afectando la diversidad genotípica de sus poblaciones (Chávez-Romo *et al.*, 2013). Además, estos incidentes pueden provocar derrames de sustancias en el mar, por lo que es importante investigarlos para controlar la salud de estos ecosistemas (Piatt & Ford, 1996; Chabanet *et al.*, 2005). Según Hayasaka y Ortiz-Lozano (2014), existe un riesgo moderado de que se produzcan encallamientos en el PNSAV, siendo la causa principal los errores humanos. Dentro de los ACS ubicados en la ANP, el

arrecife La Loma, cuya profundidad mínima es de 13 m, es el más vulnerable a este tipo de accidentes, ya que está a solo 1 km de las instalaciones del nuevo puerto. En las zonas norte y sur del CASGM han ocurrido diversos encallamientos sobre arrecifes emergidos y bordeantes, sin que se haya documentado su impacto sobre los ACS.

### **INDUSTRIA PETROLERA**

Es indudable la importancia económica de las actividades petroleras en el golfo de México. En los últimos años, y derivado de la Reforma Energética promovida en el periodo de 2012-2018 por el Gobierno Federal de México, se ha incrementado la exploración en áreas someras de la plataforma continental frente al estado de Veracruz. La distribución de los bloques licitados en las aguas someras incluye todo lo largo del golfo de México veracruzano a excepción de áreas específicas que se corresponden con los polígonos de las ANP Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan y Sistema Arrecifal Veracruzano, así como con la propuesta del ANP Sistema Arrecifal de los Tuxtlas; sin embargo, varios de los ACS se ubican dentro de los polígonos de exploración y explotación. A pesar de que la Secretaría de Energía del Gobierno Federal solicita evaluaciones de impacto ambiental para autorizar las operaciones en dichas áreas, resalta la carencia de información científica sobre la mayoría de los ACS, lo cual es urgente de atender, ya que es probable que no sean considerados en las medidas de mitigación de estos proyectos.

### **CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL**

Dentro de las principales amenazas que enfrentan los arrecifes coralinos en el mundo se encuentran el cambio climático global y el in-

crecimiento de las temperaturas oceánicas; estos fenómenos, combinados con los múltiples estresores a escala regional y local son uno de los retos fundamentales para el manejo de estos ecosistemas (Anthony *et al.*, 2015). Derivado de este tipo de presiones, los corales escleractíneos han sufrido la pérdida de sus colonias de zooxantelas, originando con ello los eventos de blanqueamiento que se presentan alrededor del mundo (Brown, 1997).

Eventos de blanqueamiento han sido documentados en la región del CASGM en los géneros *Acropora* (observaciones *in situ*), *Porites* (Carricart-Ganivet, 1993; 2011), *Colpophyllia* (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011), así como en los géneros *Diploria*, *Montastrea*, *Siderastrea* y *Stephanocoenia* por Carricart-Ganivet *et al.* (2011) quien además indicó que el registro de esta enfermedad en el PNSAV se ha asociado a zonas someras, con alta radiación solar y altas temperaturas superficiales.

Los ACS habitualmente se encuentran a profundidades debajo de la termoclina. La estratificación de aguas que ocurre marcadamente en el verano, puede presentar diferencias de hasta 4 °C entre las aguas superficiales y las que están debajo de la termoclina, como ha sido reportado para el PNSAV (Salas-Monreal *et al.*, 2009). Esta situación es relevante,

debido a que en lugares como Indonesia se ha encontrado que los eventos de blanqueamiento de corales asociados a altas temperaturas presentan un gradiente en el cual las afectaciones disminuyen a medida que aumenta la profundidad (Bridge *et al.*, 2014), lo cual es concordante con lo encontrado para arrecifes a mediana profundidad (~20 m) en el mar Rojo y en Sudáfrica (Riegl & Piller, 2003). Además, en la región del Caribe se ha encontrado que los arrecifes a profundidades mayores de 30 m son menos susceptibles al blanqueamiento (Bongaerts *et al.*, 2010).

Si bien existe la hipótesis de que los arrecifes profundos pueden servir como refugio para las especies coralinas afectadas por el calentamiento oceánico y la influencia humana (Bongaerts *et al.*, 2010), la evidencia aún no es contundente; sin embargo, la importancia de este tipo de arrecifes como refugios térmicos se incrementa al considerarlos también como proveedores de hábitats para especies bentónicas y peces que complementan a los arrecifes emergidos (Harris *et al.*, 2013). Bajo este razonamiento, los ACS del CASGM pueden representar un punto importante en las estrategias para enfrentar los efectos del calentamiento global que desarrolla el Gobierno Mexicano.

## ARRECIFES SUMERGIDOS Y ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS EN EL CASGM

En el CASGM existen dos Áreas Naturales Protegidas: el Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (APFF-SALT), y el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Existe una propuesta de la Comisión Nacional de Áreas Naturales

Protegidas (CONANP) para decretar la región marina de Los Tuxtlas como una Reserva de la Biósfera, iniciativa que a la fecha de este escrito no ha prosperado a pesar de existir ya un estudio previo justificativo (CONANP, 2016).

En el decreto de creación del APFF-SALT (DOF, 5 de junio de 2009), no se considera la presencia de ninguno de los arrecifes sumergidos presentes en la zona (Cortés-Useché, 2014). De hecho, el arrecife Pantepec (que incluye tanto a Pantepec Norte como Sur), es seccionado por la poligonal de protección, lo que demuestra el desconocimiento de las autoridades sobre su presencia; sin embargo, en el Programa de Manejo del ANP (DOF, 6 de enero 2014) ya se hace mención a este arrecife, aunque de forma muy imprecisa. Los arrecifes Corazones, Oro Verde y Blake tampoco son considerados en la creación de esta ANP y quedan fuera del polígono de la misma.

En el PNSAV se encuentra la gran mayoría de los arrecifes sumergidos del CASGM. Den-

tro de esta ANP existen por lo menos 16 estructuras sumergidas, la mayoría de las cuales no son consideradas en los decretos del ANP ni en el programa de manejo, careciéndose de políticas específicas para su protección (Ortiz Lozano *et al.*, 2018a).

Por su parte, la propuesta de creación de la Reserva de la Biósfera Arrecifes de los Tuxtlas (CONANP, 2016) incluye al arrecife rocoso de Montepío, pero no abarca Palo Seco y Tripié, a pesar de ser de los pocos arrecifes de la zona que han sido estudiados (González-Gándara & De la Cruz-Francisco, 2014; González-Gándara *et al.*, 2015; Jordán-Garza *et al.*, 2017).

## RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO

La protección y conservación de los ACS en el CASGM es escasa. Se podría considerar que solamente aquellos ACS que se ubican dentro de las ANP podrían verse beneficiados indirectamente por acciones de protección que están encaminadas hacia los arrecifes emergidos; sin embargo, la falta de reconocimiento de la presencia de ACS por parte de las autoridades los hace vulnerables, como es el caso de los ACS ubicados dentro del PNSAV, los cuales en su totalidad se encuentran en zonas de amortiguamiento, en donde la pesca es permitida, sin que exista una política específica que reconozca la importancia de estos ambientes.

Aquellos arrecifes que se ubican fuera de las ANP se encuentran bajo una fuerte presión. Tal es el caso del Blake, que pese a ser un ecosistema con una alta diversidad (Martos, 2010), es explotado fuertemente por los

pescadores de Tuxpan, Cazones y Tecolutla. El resto de los ACS, como Piedras Altas, Amarillos, Monte Negro, etc., permanecen sin un esquema de control para las actividades de pesca e incluso algunos como Piedras Altas, Los Picos y Camaronera se encuentran dentro de los polígonos de exploración y explotación de hidrocarburos.

Todas estas situaciones, resaltan la necesidad de generar información actual sobre las condiciones ambientales, los usos y los beneficios que estos ecosistemas sumergidos proporcionan a las comunidades locales. Esta información permitirá el hacer frente a las presiones por pesca, por tráfico marítimo y particularmente por los posibles efectos de las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos que tienen una fuerte presencia a lo largo del CASGM.

## AGRADECIMIENTOS

El Centro Mexicano de Derecho Ambiental y la Fundación de la Familia Paul M. Angell financiaron parte de este trabajo. El segundo autor recibió una beca (607761) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Esta investigación es parte del proyecto institucional “El Corredor del Arrecife Suroeste del Golfo de México” DGI: 32720201692. Agradecemos la colaboración de los estudiantes Ángel Alexis Guillén Hernández, Ludwig Danton del Ángel Zavala,

Leidy Gallardo Muñoz, Jorge Luis Díaz Espinosa y Aileen Arteaga.

Agradecemos a Dorado Buceo, Puerto Lobos Dive Camp, y a los pescadores de Barra de Corazones, Tecolutla, Chachalacas, Antón Lizardo, Salinas y Sontecomapan por la información y facilidades otorgadas. Al Dr. Carlos González Gándara por su apoyo para el trabajo de campo. A Cipriano Anaya Cruz por la información proporcionada

## LITERATURA CITADA

- Abbey, E. & J.M. Webster, 2011. Submerged Reefs. Pp. 1058-1062. En: *Encyclopedia of Modern Coral Reefs*. Springer, Netherlands.
- Andradi-Brown, D.A., E. Gress, G. Wright, D.A. Exton & A.D. Rogers, 2016. Reef fish community biomass and trophic structure changes across shallow to upper mesophotic reefs in the Mesoamerican Barrier Reef Caribbean. *PloSOne*, 11(6). <https://doi.org/10.1371/journal.Pone.0156641>.
- Anthony, K., P.A. Marshall, A. Abdulla, R. Beeden, C. Bergh, R. Black & A. Green, 2015. Operationalizing resilience for adaptive coral reef management under global environmental change. *Global Change Biology*, 21(1), 48-61. doi: 10.1111/gcb.12700. Epub 2014 Sep 5.
- APIVER (Administración Portuaria Integral de Veracruz), 2018. Resumen histórico, APIVER. <http://www.puertodeveracruz.com.mx/estadisticas/resumen-historico/>
- Arceo, P., H. Pérez-España, J. Bello, A. Granados-Barba, D. Salas-Monreal & L. Ortiz-Lozano, 2010. Economic evaluation of fisheries and tourist services of the Veracruz Reef System National Park, Mexico: A Spatial Approach. *IIFET 2010 Montpellier Proceedings*.
- ARGO (Argo Consultores Ambientales) y APIVER (Administración Portuaria Integral de Veracruz), 2013. *Manifestación de Impacto Ambiental modalidad Regional, Ampliación del Puerto de Veracruz en la zona norte*. México, 1282.
- Beeden, R., J. Maynard, J. Johnson, J. Dryden, S. Kininmonth & P. Marshall, 2014. No-anchoring areas reduce coral damage in an effort to build resilience in Keppel Bay, southern Great Barrier Reef, Australia. *Journal Environmental Management*, 21(3):311-319. <https://doi.org/10.1080/14486563.2014.881307>
- Black, K.P., P.J. Moran & L.S. Hammond, 1991. Numerical models show coral reefs can be self-seeding. *Marine Ecology Progress Series*, 74:1-11.
- Blanchon, P., J. Estrada, S. Richards, J. Bernal, S. Cerdeira-Estrada & R. Martell-Dubois, 2017. Caribbean reef drowning during slow mid-holocene sea-level rise. <https://dx.doi.org/10.17605/OSF.IO/TFZ8G>.
- Bongaerts, P., T. Ridgway, E.M. Sampayo & O. Hoegh-Guldberg, 2010. Assessing the ‘deep reef refugia’ hypothesis: focus on Caribbean reefs. *Coral Reefs*, 29(2):309-327.

- Bridge, T.C., A.S. Hoey, S.J. Campbell, E. Muttaqin, E. Rudi, N. Fadli & A.H. Baird, 2014. Depth-dependent mortality of reef corals following a severe bleaching event: implications for thermal refuges and population recovery. DOI:10.12688/f1000research.2-187.v3. eCollection 2013.
- Bright, T.J., G.P. Kraemer, G.A. Minnery & S.T. Viada, 1984. Hermatypes of the flower garden banks, Northwestern Gulf of Mexico: a comparison to other Western Atlantic Reefs. *Bulletin of Marine Science*, 34(3):461-476.
- Brown, B.E., 1997. Coral bleaching: causes and consequences. *Coral Reefs*, 16(5):S129-S138.
- Carricart-Ganivet, J.P., 1993. Blanqueamiento parcial en *Porites porites* (Cnidaria: Scleractinia) en el Arrecife de Isla Verde, Veracruz, México. *Revista Biología Tropical*, 41(3 A):495-498.
- Carricart-Ganivet, J.P., A.U. Beltrán-Torres & G. Horta-Puga, 2011. Distribution and prevalence of coral diseases in the Veracruz reef system, southern Gulf of Mexico. *Disease Aquatic Organism*, 95(3):181-187.
- Carter, J., G.J. Marrow & V. Pryor, 1994. Aspects of the ecology and reproduction of Nassau grouper *Epinephelus striatus*, off the coast of Belize, Central America. *Gulf & Caribbean Fisheries Institute*, 43:64-111.
- Chabanet, P., M. Adjéroud, S. Andréfouët, Y.M. Bozec, J. Ferraris, J.A. García-Charton & M. Scrhimm, 2005. Human-induced physical disturbances and their indicators on coral reef habitats: a multi-scale approach. *Aquatic Living Resources*, 18:215-230.
- Chávez-Romo, H.E., D.A. Paz-García, F. Correa-Sandoval, H. Reyes-Bonilla, R.A. López-Pérez & P. Medina-Rosas, 2013. Difference in reproductive strategies of two scleractinian corals (branching vs massive) along the west coast of Mexico. *Ciencias Marinas*, 39:387-400. <https://doi.org/10.7773/cm.v39i4.2272>.
- Colmenares-Campos C., 2015. Evaluación ambiental y económica de los arrecifes de la región Villa Rica – Punta Brava. *Reporte Técnico de Residencia. Instituto Tecnológico de Boca del Río*. Veracruz, México. 55 pp.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), 2016. Estudio Previo Justificativo para el establecimiento de la Reserva de la Biosfera “Arrecifes de los Tuxtlas” ubicada en el estado de Veracruz Ignacio de la Llave.
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca), 2013. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2013. México.
- CONAPESCA (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca), 2017. Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2017. México.
- Connell, J.H., 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199:1302-1310.
- Connell, J.H., 1997. Disturbance and recovery of coral assemblages. En: *Proceedings 8th International Coral Reef Symposium*, 1:9-22.
- Cortés-Useche, C., 2014. Herramientas para incluir tres arrecifes no emergentes en el Área de Protección de Fauna y Flora – Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan, Veracruz, México. *Tesis Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana*. Tuxpan, Veracruz, México, 153 pp.
- Cowen, R.K. & S. Sponaugle, 2009. Larval dispersal and marine population connectivity. *Annual Review Marine Science*, 1:446-466.
- Cowen, R.K., C.B. Paris, D.B. Olson, & J.L. Fortuna, 2003. The role of long distance dispersal versus local retention in replenishing marine populations. *Gulf Caribbean Research*, 14(2):129-137.
- Crooks, K.R. & M. Sanjayan, 2006. Connectivity conservation: maintaining connections for nature. *Conservation Biology*, 14:1.
- Davis, G.E., 1977. Anchor damage to a coral reef on the coast of Florida. *Biological Conservation*, 11(1):29-34.
- Dinsdale, E.A. & V.J. Harriott, 2004. Assessing anchor damage on coral reefs: a case study in selection of environmental indicators. *Environmental Management*, 33(1):126-139.

- DOF (Diario Oficial de la Federación), 1998. *Regla por las que se establece el Sistema de Organización del Tráfico Marítimo en los accesos al puerto de Veracruz*, Ver. Viernes 17/07/1998, México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación), 2009. *DECRETO por el que se declara área natural protegida, con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna, la región conocida como Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, localizada frente a las costas de los municipios de Tamiabua Tuxpan, en el Estado de Veracruz*. Decreto de 5/06/2009, México
- DOF (Diario Oficial de la Federación), 2014. *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. México*. Reforma de 16/01/2014. México.
- Emery, K. O., 1963. Coral reefs off Veracruz, Mexico. *Geofísica Internacional*, 3:11-17.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2014. ArcMap 10.3. ESRI Inc. (Redlands: California, USA.).
- Game, E.T., E. McDonald-Madden, M.L. Puotinen & H.P. Possingham, 2008. Should we protect the strong or the weak? Risk, resilience, and the selection of marine protected areas. *Conservation Biology*, 22:1619–1629. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01037.x>.
- Gittings, S.R., T.J. Bright & D.K. Hagman, 1993. The M/V Wellwood and other large vessel groundings: coral reef damage and recovery. En: Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science (Ed.), *Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazard and History*. University of Miami, pp. 174–180.
- González-Gándara, C. & V. De la Cruz-Francisco, 2014. Unusual record of the Indo-Pacific pomacentrid *Neopomacentrus cyanomos* (Bleeker, 1856) on coral reefs of the Gulf of Mexico. *Biological Invasions Records*, 3(1):49-52.
- González-Gándara, C., F. Solís-Marín, V. de la Cruz-Francisco, A. Granados-Barba, J. Salas-Pérez, J. Argüelles-Jiménez & P. Escárcega-Quiroga, 2015. Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes del norte y sur de Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 63(2):183-193.
- Gutiérrez-Ruiz, C.V., M.A. Román-Vives, C.H. Vergara & E.I. Badano, 2011. Impact of anthropogenic disturbances on the diversity of shallow stony corals in the Veracruz Reef System National Park. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(1):49-260. <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.1.382>
- Harris, P.T., T.C. Bridge, R.J. Beaman, J.M. Webster, S.L. Nichol & B.P. Brooke, 2013. Submerged banks in the Great Barrier Reef, Australia, greatly increase available coral reef habitat. *ICES Journal Marine Science*, 70(2):284-293.
- Hayasaka-Ramírez, S. & L. Ortiz-Lozano, 2014. Anthropogenic pressure indicators associated with vessel groundings on coral reefs in a marine protected area. *Ciencias Marinas*, 40(4):237-249. DOI:10.7773/cm.v40i4.2459
- Hughes, T.P., 1989. Community structure and diversity of coral reefs: the role of history. *Ecology*, 70:275-279.
- Jiménez-Badillo, L., 2008. Management challenges of small-scale fishing communities in a protected reef system of Veracruz, Gulf of Mexico. *Fisheries Management & Ecology*, 15(1):19-26.
- Jiménez-Badillo, L., H. Pérez-España, J.M. Vargas-Hernández, J.C. Cortés-Salinas & P. Flores-Pineda, 2006. *Catálogo de especies y artes de pesca del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano*. México.
- Jordán-Garza, A.G., C. González-Gándara, J.J. Salas-Pérez & A.M. Morales-Barragán, 2017. Coral assemblages are structured along a turbidity gradient on the Southwestern Gulf of Mexico, Veracruz. *Continental Shelf Research*, 138:32-40. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2017.03.002>
- Kadison, E., R.S. Nemeth, J. Blondeau, T. Smith & J. Calnan, 2009. Nassau grouper (*Epinephelus striatus*) in St. Thomas, U.S. Virgin Islands, with evidence for a spawning aggregation site

- recovery. *Proceedings of the Gulf & Caribbean Fisheries Institute*, 62:273-279.
- Karlson, R.H. & L.E. Hurd, 1993. Disturbances, coral reef communities and changing ecological paradigms. *Coral Reefs*, 12:117-125.
- Martínez Batlle, J.R., C. Gómez-Ponce, R. Cámara Artigas, & F. Díaz del Olmo, 2003. Submerged Fringing Reefs in Catuano Passage (East National Park, Dominican Republic): Bio-sedimentary characterization and application to planning of environmental units. *XI Reunión Nacional de Cuaternario*, Oviedo, Asturias, pp. 27-32.
- Martínez-Vargas, J.A., 2018. Estructura de la comunidad de poríferos en el arrecife "Los Picos", Veracruz, México. *Tesis Maestría en Ecología y Pesquerías, Universidad Veracruzana*. 91 pp.
- Martos, F.J., 2010. Evaluación de la salud de los corales del Arrecife Blake, Cazones, Veracruz *Tesis Maestría Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz*.
- Moore, D.R. & H.R. Bullis Jr., 1960. A deep-water coral reef in the Gulf of Mexico. *Bulletin Marine Science*, 10(1):125-128.
- Ortiz-Lozano, L., 2012. Identification of priority conservation actions in marine protected areas: using a causal networks approach. *Ocean & Coastal Management*, 55:74-83. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.10.013>
- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez & J. Martos, 2013. The reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22-32.
- Ortiz-Lozano, L., C. Colmenares-Campos, A. Gutiérrez-Velázquez, 2018a. Submerged Coral Reefs in the Veracruz Reef System, Mexico, and its implications for marine protected area management. *Ocean & Coastal Management*, 158:11-23. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2018.03.012.
- Ortiz-Lozano L., F. Martínez-Esponda, M. Escorcia-Quintana, G. García-Maning, X. Ramos-Pedruza Ceballos & C. Colmenares-Campos, 2018b. *El corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México. Retos y oportunidades para su protección*. 1era Ed. Centro Mexicano de Derecho Ambiente México 78 pp.
- Parker, R.H. & J.R. Curran, 1956. Fauna and bathymetry of banks on continental shelf, northwest Gulf of Mexico. *AAPG Bulletin*, 40(10):2428-2439.
- Piatt, J.F. & R.G. Ford, 1996. How many seabirds were killed by the Exxon Valdez oil spill? En: Rice, S.D., Spies, R.B., Wolfe, D.A., Wright, B.A. (Eds.), Exxon Valdez Oil Spill Symposium Proceedings. *American Fisheries Society Symposium*, 18, Bethesda, Maryland, pp. 712-719.
- Reyna-González, P.C., J. Bello-Pineda, L. Ortiz-Lozano, H. Pérez-España, P. Arceo & J. Brenner, 2014. Incorporating expert knowledge for development spatial modeling in assessing ecosystem services provided by coral reefs: a tool for decision-making. *Revista de Biología Marina & Oceanografía*, 49(2).
- Riegl, B. & W.E. Piller, 2003. Possible refugia for reefs in times of environmental stress. *International Journal of Earth Science*, 92(4):520-531. DOI:10.1007/s00531-003-0328-9
- Salas-Monreal, D., D.A. Salas-de-León, M.A. Monreal-Gómez & M.L. Riverón-Enzástiga, 2009. Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs*, 28(4):871.
- Salas-Pérez, J. & A. Granados-Barba, 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*, 21:281-301.
- Salas-Pérez, J. & V. Arenas, 2010. Winter water mass of the Veracruz Reef System. *Atmósfera*, 24:221-231.
- Sancho, G., C.W. Petersen & P. Lobel, 2000. Predator-prey relations at a spawning aggregation site of coral reef fishes. *Marine Ecology Progress Series*, 203:275-288.

- Santiago-Valentín, J.D. & A.P. Rodríguez-Troncoso, 2016. Reproducción, reclutamiento y conectividad en corales: procesos esenciales para el mantenimiento de las comunidades coralinas. En: Magaña, F. (Ed.), G. C. *Tópicos sobre ciencias biológicas*.
- Smith, S.H., 1988. Cruise ships: a serious threat to coral reefs and associated organisms. *Ocean Shoreline Management*, 11(3):231-248.
- Thomas, C.J., T.C. Bridge, J. Figueiredo, E. Deleersnijder & E. Hanert, 2015. Connectivity between submerged and near-sea-surface coral reefs: can submerged reef populations act as refuges? *Diversity & Distributions*, 21(10):1254-1266. DOI:10.1111/ddi.12360
- Tunnell, J.W. Jr., 1988. Regional comparison of southwestern Gulf of Mexico to Caribbean Sea coral reefs. En: J. Choat, D. Barnes, M. Borowitzka, J. Coll, P. Davies, P. Flood, B. Hatcher, D. Hopley, P. Hutchings, D. Kinsey, G. Ornie, M. Pichon, P. Sale, P. Sammarco, C. Wallace, C. Wilkinson, E. Wolanski & O. Bellwood, *Proceedings of the Sixth International Coral Reef Symposium* (Townsville, Australia, 8th-12th August 1988), 3:303-308. Townsville: *International Coral Reef Symposium Executive Committee*.
- Tunnell Jr., J.W., N. Barrera, C.R. Beaver, J. Davidson & J.E. Vega, 2007. Checklist of the Biota Associated with Southern Gulf of Mexico Coral Reefs and Coral Reef Islands. GulfBase/Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, Texas A&M University-Corpus Christi, Corpus Christi, Texas online database at [www.gulfbase.org](http://www.gulfbase.org).
- Victor, B.C., 1991. Settlement strategies and biogeography of Reef fishes. En: Sale, P.F. (Ed.), *The Ecology of Fishes on Reefs*. Academic Press, San Diego, pp. 231-260.



Athié, G., D. Salas-Monreal y M. Marín-Hernández, 2019. Circulación sobre la Plataforma de Veracruz Asociada al Giro de Campeche y su Efecto en los Sistemas Arrecifales, p. 37-54. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Circulación sobre la Plataforma de Veracruz Asociada al Giro de Campeche y su Efecto en los Sistemas Arrecifales

*Gabriela Athié<sup>1\*</sup>, David Salas-Monreal<sup>2</sup> y Mark Marín-Hernández<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Cátedra CONACYT-Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

\*gathie@uv.mx.

## RESUMEN

Se evalúa el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) como una zona clave para la interacción entre la circulación de mesoescala característica del golfo de México y la circulación costera. Si bien se observa una circulación sobre la plataforma siguiendo la dirección del viento estacional predominante, es decir, de norte a sur entre septiembre y marzo y en sentido opuesto de junio a agosto, el presente estudio muestra una contribución significativa de la circulación de mesoescala. La energía cinética asociada a los remolinos muestra un comportamiento estacional, con dos períodos del año favorables para el intercambio de agua oceánica y costera, así como el forzamiento de surgencias topográficas. En particular el giro de Campeche parece tener un aporte directo sobre la zona sur del CASGM (al sur de 21° N) durante el verano y otoño. Por otro lado, los remolinos de la corriente de Lazo, podrían tener una mayor influencia sobre el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan; sin embargo, debido a que la plataforma continental es más ancha en esta latitud, la circulación de mesoescala presenta una menor contribución sobre la circulación de la plataforma al norte del CASGM.

**Palabras claves:** Giro de Campeche, circulación oceánica, datos de satélite

## ABSTRACT

The Reef Corridor of the Southwestern Gulf of Mexico (CASGM) is evaluated as a key area for the interaction between the mesoscale circulation of the Gulf of Mexico and the coastal circulation. Although a circulation is observed on the platform, following the predominant seasonal wind direction, i.e. from north to south between September and March and in the opposite direction from June to August, the present study shows a significant contribution of the mesoscale circulation. The kinetic energy associated with eddies shows a seasonal behavior. The exchange of oceanic and coastal water, as well as the forcing of topographic upwelling was observed during two seasons of the year. In particular, the Campeche Gyre seems to have a direct contribution on the southern part of the CASGM (south of 21° N) during the summer and autumn. On the other hand, the gyre associated to the Loop Current could have a greater influence on the Lobos-Tuxpan Reef System; however, because the continental shelf is wider at this latitude, the mesoscale circulation has a lower contribution on the circulation of the platform on the outside part of the northern CASGM.

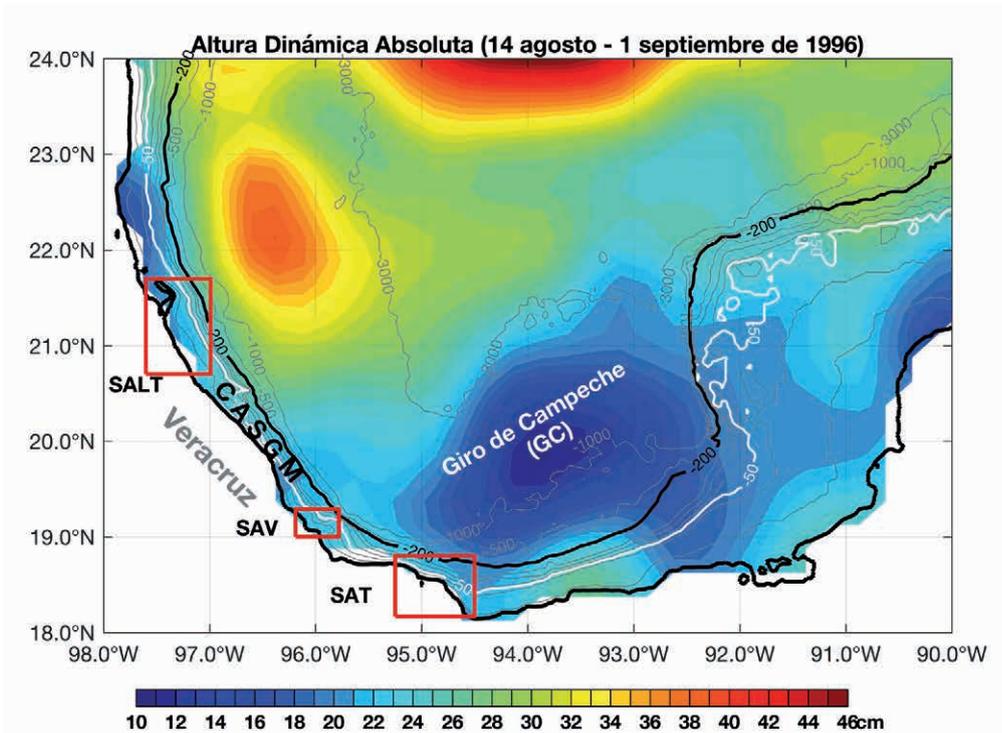
**Keywords:** Campeche Gyre, Ocean circulation, Satellite data

## INTRODUCCIÓN

La plataforma continental del estado de Veracruz presenta una morfología particular para el estudio de la dinámica y la interacción entre las corrientes costeras y de mesoescala en el golfo de México occidental. Específicamente, en la zona del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM), donde la plataforma continental (definida como la zona oceánica con profundidades mayores a los 200 m) es más estrecha con respecto al resto del golfo de México, presentando un ancho promedio de aproximadamente 40 km; mientras que en el quiebre de la plataforma, la profundidad aumenta alrededor de 800 m en solo 10 km de distancia (figura 1). Su pronunciada pendiente, y la cercanía con la costa, generan una dinámica poco común y diferente a lo esperado en el resto de la plataforma continental del golfo de México (Salas-Monreal *et al.*, 2018).

Las corrientes costeras frente al estado de Veracruz se encuentran dominadas principalmente por el esfuerzo del viento, presentando una estacionalidad muy marcada (Zavala-Hi-

dalgo *et al.*, 2003). De septiembre a marzo, la circulación a lo largo de la plataforma puede alcanzar entre 0.5 y 1  $\text{ms}^{-1}$ , con una variabilidad interanual importante (Mateos-Jasso *et al.*, 2012). Ambos estudios muestran que la circulación en esta zona presenta un sentido ciclónico, lo cual se ve reflejado como una corriente hacia el sur en la plataforma continental. Esto se debe a que las corrientes son influenciadas por los frentes fríos provenientes de Estados Unidos, caracterizados por fuertes vientos del norte (comúnmente conocidos como “Nortes”). Por otro lado, de mayo a agosto el viento predominante presenta una dirección del sureste, por lo que dicha circulación se invierte y se presenta en sentido anticiclónico, reflejado como una corriente costera hacia el norte en la plataforma continental (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003). El CASGM, que se encuentra localizado dentro de los ~20 km de distancia a la costa, es influenciado por estos patrones generales de circulación; sin embargo, dentro de la zona arrecifal se observa una circulación local en forma de giros,



**Figura 1.** Mapa promedio de la altura dinámica absoluta para la zona centro y sur del golfo de México. El promedio se realizó entre el 14 de agosto y el 1 de septiembre de 1996 para comparar con las observaciones directas de Díaz-Flores *et al.* (2017). La batimetría está indicada en gris, cada 20 m para profundidades menores a 100 m; la isóbata de 50 m está indicada en blanco. Los cuadros rojos indican los tres sistemas arrecifales que componen el casgm (definidos en el texto). La plataforma continental está definida como la zona oceánica con profundidades menores a los 200m, isóbata indicada con el contorno negro.

influenciada por la presencia de los arrecifes, con corrientes que se mueven alrededor de los mismos (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016). En promedio, las velocidades dentro de la zona arrecifal se encuentran por debajo de los  $0.4 \text{ ms}^{-1}$  (Mateos-Jasso *et al.*, 2012).

La hidrografía de la plataforma continental, donde se encuentra el corredor arrecifal, cuenta con un ciclo estacional bien definido; entre mayo y agosto existe una estratificación que desaparece de septiembre a marzo (Perales-Valdivia *et al.*, 2015; Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016). Mateos-Jasso *et al.* (2012)

mencionan que en verano, cuando los vientos del sureste predominan, se favorecen las condiciones de surgencia, mientras que en la temporada de “Nortes”, se observaron hundimientos asociados a estos vientos. Por otro lado, a partir de un anclaje instalado dentro del Sistema Arrecifal Veracruzano, a 8 km de la costa durante cuatro años, estos autores, demostraron la presencia de surgencias eólicas en verano, con un descenso abrupto de la temperatura, de hasta  $7 \text{ }^{\circ}\text{C}$  entre los 10 y 40 m de profundidad, asociando estos eventos de surgencia a los vientos provenientes del su-

reste; sin embargo, el descenso de temperatura se observó en una zona protegida entre dos arrecifes y bajo condiciones de fuerte estratificación. Posteriormente, Riverón-Enzástiga *et al.* (2016) observaron condiciones de surgencia en la zona inmediata exterior a los arrecifes durante el verano, cuando el viento es favorable para estos eventos. Sin embargo, debido a la fuerte estratificación por encima de los 5 m de profundidad en la columna de agua, prevaeciente durante estos eventos, los autores sugieren una posible surgencia topográfica.

En la parte exterior de la plataforma continental, a escasos kilómetros del CASGM, la circulación de mesoescala está dominada por un giro ciclónico conocido como el Giro de Campeche (GC, figura 1). Los giros ciclónicos presentan una circulación en el sentido contrario a las manecillas del reloj y biológicamente son importantes ya que por sus características físicas (geostrofia), implican surgencia en la parte central, así como renovación e intercambio de agua debido a sus corrientes intensas en la periferia, representando un aporte de nutrientes y condiciones favorables para la productividad primaria. El GC cuenta con un diámetro aproximado de 140 km, una profundidad de entre 700 y 1 000 m, y su velocidad promedio en la periferia varía entre 0.1 y 0.3 ms<sup>-1</sup>, alcanzando un máximo de 0.5 ms<sup>-1</sup> (Pérez-Brunius *et al.*, 2012), similares a los registrados en la parte exterior del Sistema Arrecifal Veracruzano (Salas-Monreal *et al.*, 2009), lo cual sugiere una posible interacción entre la circulación de mesoescala y local. Se ha reportado que el GC es persistente durante todo el año y se encuentra confinado a la zona oeste de la bahía de Campeche debido a efectos topográficos (Pérez-Brunius *et al.*, 2012). Con respecto a

los factores que lo originan, se ha discutido que es principalmente forzado por el rotacional del esfuerzo del viento, también presente a lo largo del año (Vázquez de la Cerda *et al.*, 2005) y por efectos de conservación de vorticidad potencial, debido al abrupto cambio de profundidad en ambos extremos de la cuenca (Pérez-Brunius *et al.*, 2012; Díaz-Flores *et al.*, 2017). Vázquez de la Cerda *et al.* (2005), encontraron que las corrientes asociadas a dicho giro eran ligeramente más intensas en invierno, cuando el rotacional del esfuerzo del viento se intensifica. Pérez-Brunius *et al.* (2012), utilizaron mediciones de boyas de deriva en superficie y de correntímetros instalados en la zona profunda de la bahía de Campeche durante 3 años, encontrando una intensificación relativa del GC durante el verano-otoño; sin embargo, el aumento en intensidad del giro no fue significativo. Además, estos autores demostraron que la principal fuente de variabilidad en el GC está asociada a cambios en su tamaño, forma, posición e intensidad, asociados a la interacción del GC con giros anticiclónicos de la corriente de Lazo.

Los trabajos descritos, ponen en evidencia el CASGM como una zona interesante para el estudio dinámico, no solamente local, sino de interacción entre la zona costera y de mayor escala en aguas profundas. Un enfoque muy poco explorado hasta el momento. Díaz-Flores *et al.* (2017), estudiaron el origen del GC a partir de mediciones directas de velocidad de la corriente en la bahía de Campeche durante un crucero efectuado entre el 14 de agosto y 1 de septiembre de 1996. Dentro de sus resultados, ellos muestran parte del flujo ciclónico del GC sobre la plataforma, en la zona somera hasta la isóbata de 10 m de profundidad (en su figura 3). Los datos de altimetría obtenidos

a partir de satélite para estas mismas fechas (figura 1), muestran estructuras similares a las encontradas por Díaz-Flores *et al.* (2017), dos giros ciclónicos cuyo centro se encuentra en la parte profunda de la bahía, pero con una influencia en su periferia que abarca profundidades menores a 50 m. Zavala-Sansón *et al.* (2018) en un análisis estadístico de trayectorias (lagrangeano) a partir de 441 boyas de deriva a 50 m de profundidad, liberadas a lo largo de 7 años, encontraron velocidades intensas asociadas al GC sobre la plataforma continental y concluyen que las parametrizaciones realizadas en el sur del golfo de México deben considerar al influencia de esta circulación de mesoescala.

De esta forma, en el presente capítulo, se plantea un análisis estacional de la circulación de mesoescala en la bahía de Campeche, y su interacción con la zona del quiebre de la plataforma continental, evaluando el posible impacto hidrológico y dinámico sobre el CASGM. Con el fin de identificar patrones

de circulación relevantes para el intercambio de agua entre estos dos ambientes marinos, así como la identificación de posibles forzamientos que generen fenómenos específicos, como las surgencias y la estacionalidad de los mismos. Con esta información, también se puede identificar si los tres grandes sistemas arrecifales del CASGM cuentan con las mismas características físicas, o si pueden ser considerados como sistemas diferentes desde el punto de vista de la oceanografía física. En la siguiente sección se describirá de forma breve la zona de estudio y los datos utilizados para el análisis. Posteriormente se presentarán los resultados, haciendo un análisis de la circulación de mesoescala en la bahía de Campeche, desde un enfoque promedio a largo plazo (23 años desde 1993 hasta 2016) y sus variaciones estacionales, así como sus posibles causas y consecuencias para el CASGM y, finalmente, se hará una recapitulación de los puntos importantes para concluir el trabajo.

## DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS Y LA ZONA DE ESTUDIO

El presente estudio se enfocará en la bahía de Campeche, localizada en la parte sur del golfo de México, por debajo de los 23° N, con particular atención en la parte profunda de la bahía, al oeste de los 92.5° W. Será considerada como plataforma continental, la zona ubicada en profundidades menores a los 200 m; esta isóbata marcará el quiebre de la plataforma continental y la zona con profundidades mayores, será considerada como zona profunda (figura 1). El área de estudio abarca los tres grandes sistemas arrecifales que componen el CASGM, que serán clasificados de acuerdo a

Ortiz-Lozano *et al.* (2013) en Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT), Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y Sistema Arrecifal Los Tuxtlas (SAT). Se utilizarán mapas de altura superficial del mar (SSH, por sus siglas en inglés) y de velocidades geostroficas calculadas a partir de los datos del nivel del mar entre 1993 y 2016. Estas variables son proporcionadas por el servicio de monitoreo ambiental marino de la comisión europea COPERNICUS y procesadas por el programa de altimetría multisatelital DUACS. La serie de datos en tiempo cuasi-real del promedio de la topo-

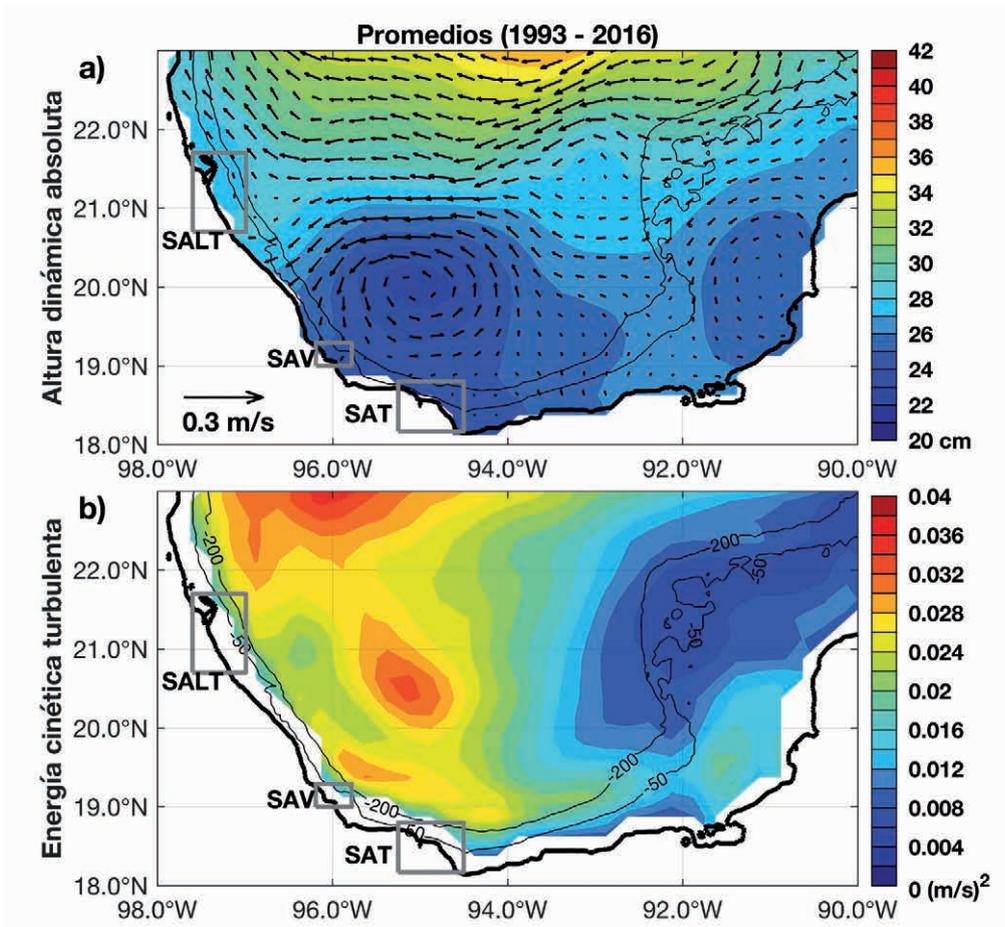
grafía dinámica absoluta (NRT-MADT, por sus siglas en inglés), utiliza información de todos los satélites de altimetría (Jason-1 y 2, T/P, Envisat, GFO, ERS-1 y 2 y Geosat). Los datos de satélite cuentan con una cobertura espacial de 0.25 grados en latitud y longitud. Se cuenta con datos diarios, sin embargo, ya que los satélites miden en un mismo punto cada 7 días, la resolución temporal de los datos no permite capturar variabilidad con periodos menores a una semana (7 días). Esta resolución espacial y temporal es adecuada para la observación de la variabilidad de mesoescala en la zona del Caribe y del golfo de México (Athie *et al.*, 2012). Para mayor información sobre los productos COPERNICUS se puede consultar la siguiente dirección de Internet: [<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>]. Para obtener el esfuerzo del viento, se utilizaron las componentes de velocidad del viento a 10 m sobre la superficie del mar (Berrisford *et al.*, 2011). Estos datos son un producto ERA-Interim obtenido del

Centro Europeo para la Predicción del Clima de Rango Medio (ECMWF, por sus siglas en inglés), el cual consiste en un re-análisis de la atmósfera global, con resolución temporal de 6 h y espacial de 0.25° en latitud y longitud. El esfuerzo del viento fue promediado dentro del área: 97–94° longitud W y 19–21° latitud N, abarcando la zona marina del suroeste de la bahía de Campeche, incluyendo al SAV y al SAT. Con las velocidades geotróficas se realizaron cálculos de energía cinética turbulenta (EKE, por sus siglas en inglés: *eddy kinetic energy*). La EKE es calculada a partir de la siguiente fórmula:  $EKE = 0.5 \cdot (u'^2 + v'^2)$ ; donde  $u'$  y  $v'$  son las anomalías de las componentes zonal (en  $x$ ) y meridional (en  $y$ ) de la velocidad, respectivamente; es decir:  $u' = u - [u]$ ;  $v' = v - [v]$ ; donde  $u$  y  $v$  son las componentes de velocidad y  $[ ]$  indica el promedio en el tiempo. La EKE da una idea de la contribución en términos de energía que tienen los remolinos hacia el sistema, sin importar si estos son ciclónicos o anticiclónicos.

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

Las estructuras promedio de SSH y velocidad geotrófica, obtenidas a lo largo de 23 años (figura 2a), muestran al GC centrado en 95° W y 20° N, aproximadamente, con corrientes promedio en su periferia de 0.1 ms<sup>-1</sup> en la parte norte, donde son más intensas. Las corrientes promedio en la parte oeste y sur del giro son de menor magnitud (0.05 ms<sup>-1</sup>) y se observan por encima de la plataforma continental, afectando las zonas del SAV y del SAT. Estas velocidades promedio pueden aumentar hasta 0.35 ms<sup>-1</sup> en eventos particulares, como se ha reportado con observaciones

(Pérez-Brunius *et al.*, 2012). La EKE indica que la zona norte del giro es la más energética con valores de hasta 0.034 m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup> (figura 2b), seguida por la zona sur y suroeste, donde se observa un aumento de hasta 0.030 m<sup>2</sup>s<sup>-2</sup>. Esta cantidad se considera significativa, ya que representa el 15 % de la EKE promedio aportada por los remolinos de la corriente de Lazo en el oeste del golfo de México, los cuales son la mayor fuente de energía por corrientes dentro del golfo. Es importante observar que este aumento de EKE en la parte sur y suroeste del GC colinda con los sistemas SAV y SAT. Aunque



**Figura 2.** Mapa promedio de la altura dinámica absoluta junto con las corrientes geotróficas entre 1993 y 2016 (a). Energía cinética turbulenta (eke, definida en el texto) promediada para el mismo periodo. (b). Las isóbaras de 50 m y 200 m se encuentran indicadas en negro, así como los arrecifes del CASGM, en gris.

la energía disminuye considerablemente en la zona somera, debido a la fricción entre el giro y el quiebre de la plataforma continental, este choque puede generar surgencias topográficas y de esta forma aporte de aguas oceánicas a la zona somera, ayudando a la ventilación del sistema; además esta zona de fuerte aporte de energía es candidata a generar fenómenos relevantes a nivel biológico como los florecimientos de fitoplancton debido al gran aporte

de nutrientes o incluso modificar la circulación sobre la plataforma colindante con los sistemas arrecifales.

En el oeste de la bahía de Campeche, a la altura del SALT, la dinámica promedio es diferente. Alrededor de los 21°N se observa una zona de corrientes zonales intensas, formadas por el flujo hacia el oeste de la parte sur de los giros de la corriente de Lazo y la parte norte del GC. Sin olvidar que este es un campo de

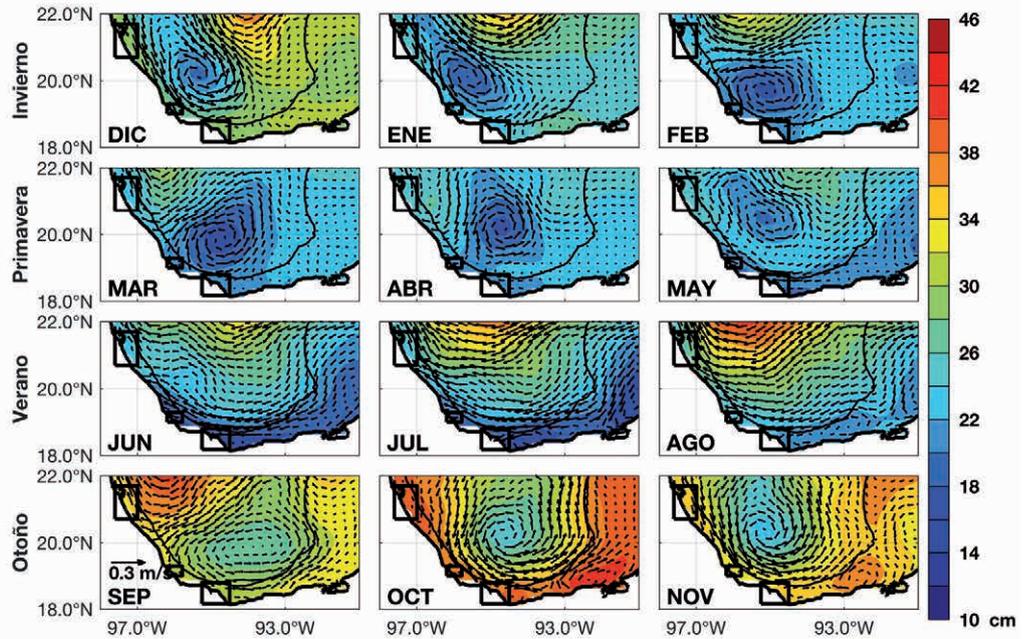
corrientes promedio de 23 años y este flujo hacia el oeste no se observa de forma permanente en los patrones de circulación diarios, se puede decir que esta zona divide la dinámica del golfo de México occidental. Al norte de los 21 °N, es una zona fuertemente influenciada por el arribo de los remolinos anticiclónicos provenientes de la corriente de Lazo; hay que recordar que este tipo de circulación está asociada a flujos cálidos, con aguas pobres en nutrientes y movimientos descendentes en su parte central (hundimientos). En estas latitudes la plataforma continental es más ancha (figura 1), lo cual aunado a las velocidades intensas de los remolinos anticiclónicos, hace difícil el intercambio de agua entre la zona profunda y la zona somera cercana a la costa. Estos resultados sugieren una diferencia tanto biótica como abiótica entre la parte norte y sur del CAGSM, teniendo una división marcada a los 21 °N.

Por otro lado, al sur de los 21°N, tenemos el aporte significativo del giro ciclónico de Campeche, caracterizado por movimientos ascendentes en su parte central (surgencias), que aportan aguas frías, ricas en nutrientes y de gran importancia para la productividad primaria. Sin embargo, justo sobre la plataforma donde se encuentra el SALT, es una zona de divergencia oceánica entre los dos giros mencionados (figura 2a), lo que podría sugerir un menor aporte de EKE en promedio (figura 2b); sin embargo, esto no implica que no sea una zona favorable para el intercambio de agua entre la circulación sobre la plataforma y la circulación profunda, pero asociada principalmente a la influencia de los remolinos de la corriente de Lazo. Biológicamente esto explicaría la diferencia entre los arrecifes del SALT y los arrecifes del SAV y SAT dentro del

CASGM, expuesta anteriormente a partir de observaciones durante el 2015 (Salas-Monreal *et al.*, 2017).

Es importante recordar que dentro de este patrón de corrientes promedio, además del aporte debido a los remolinos, también se encuentra la circulación asociada a los vientos, la cual domina de forma estacional la circulación superficial sobre la plataforma, como ha sido reportado anteriormente por Zavala-Hidalgo *et al.* (2003) y Salas-Monreal *et al.* (2009). En este último estudio, se encontró a partir de mediciones de corrientes en la parte exterior al SAV, que el efecto del viento sobre las corrientes superficiales de la plataforma continental es tres veces mayor al efecto producido por advección (en profundidades menores de 60 m). Es importante recordar que la EKE, se calcula a partir de las anomalías de velocidad, es decir, se elimina el campo de corrientes promedio, aportando información adicional sobre la variabilidad de las corrientes, principalmente asociada a los remolinos; sin embargo, la variabilidad tanto estacional como interanual asociada al campo de vientos, sigue contenida dentro del cálculo de EKE.

Se realizaron los promedios de cada mes del año, para los 23 años de datos disponibles (*i.e.*, las climatologías para la SSH, las corrientes geostroficas y la EKE). A partir del campo de corrientes y de la SSH (figura 3), se observa la presencia del GC de septiembre a mayo, con corrientes promedio de mayor intensidad de hasta  $0.3 \text{ ms}^{-1}$  durante el otoño (octubre y noviembre), coincidiendo con lo expuesto por Vázquez de la Cerda *et al.* (2005) y Pérez-Brunius *et al.* (2012), los cuales asociaron la intensificación del giro a un aumento en el rotacional del esfuerzo del viento durante esta



**Figura 3.** Promedios mensuales calculados entre 1993 y 2016 para los mapas de altura dinámica absoluta y las corrientes geostróficas asociadas. La isóbata de 200 m, tomada como el quiebre de la plataforma continental se encuentra indicada en negro, así como los arrecifes del CASGM.

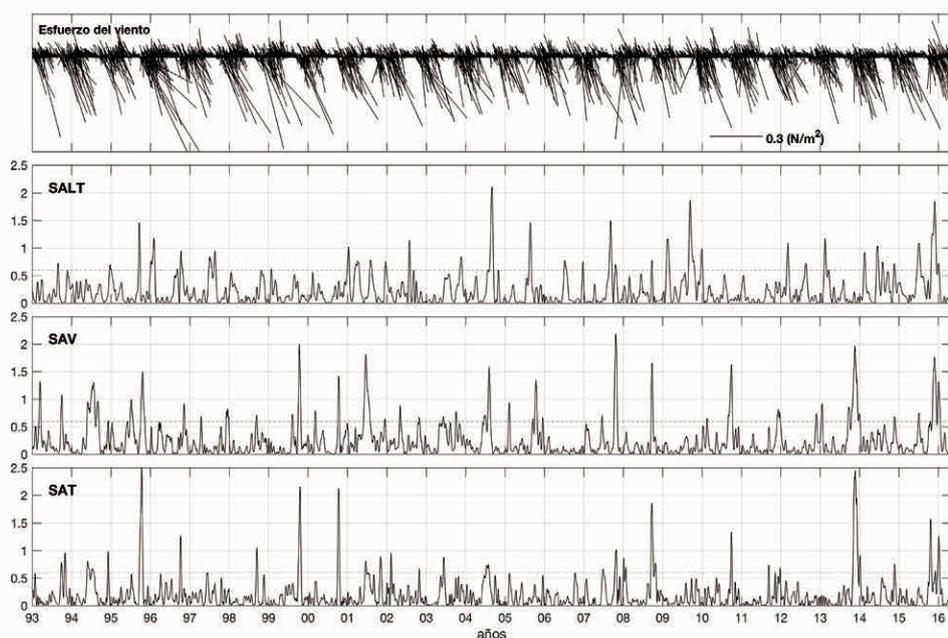
época. Durante estos meses, se puede observar la influencia del GC sobre la circulación en la plataforma continental, favoreciendo una circulación hacia el sureste, en acuerdo con la circulación previamente observada (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Salas-Monreal *et al.*, 2017), incluso de forma local en la parte externa al SAV (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016).

En los meses de verano (junio, julio y agosto), no se observa el GC y en su lugar existe una circulación de este a oeste que sigue la topografía, justo por encima del quiebre de la plataforma continental e incluso sobre ella, tan intensa como la observada en octubre para el GC (hasta  $0.3 \text{ ms}^{-1}$  en promedio durante julio). Esta corriente comienza a formarse en mayo, cuando el GC se observa desplazado hacia el norte; sin embargo, este patrón de co-

rrientes promedio característico del verano, no fue reportado por los promedios mensuales mostrados por Pérez-Brunius *et al.* (2012) a partir de boyas de deriva, pero si se observa en los promedios de julio y agosto de 2015 en el trabajo de Salas-Monreal *et al.* (2017) y coincide también con el sentido de las corrientes observadas por Zavala-Hidalgo *et al.* (2003 y 2006) sobre la plataforma continental, aunque ellos no analizan la circulación sobre la parte profunda de la bahía de Campeche y por lo tanto no consideran el aporte del GC en su estudio. De aquí que concluyeran que la energía cinética total aportada por las corrientes en la plataforma continental, estaba directamente relacionada con el esfuerzo del viento. Sin embargo, Salas-Monreal *et al.* (2009) encuentran que existe un patrón

de circulación diferente sobre la termoclina y por debajo de la misma ( $\sim 10$  m), lo que indica forzamientos dinámicos diferentes al viento en la parte profunda del CASGM; este aporte o advección de agua profunda podría llevarse a cabo a través del quiebre de la plataforma ( $\sim 200$  m) e influenciar la circulación en la parte profunda de la misma, ya que tanto los remolinos de la Corriente de Lazo, como el GC presentan profundidades mayores a los 700 m (Pérez-Brunius *et al.*, 2012). En nuestros resultados, no se observa una correlación directa entre el esfuerzo del viento local y la intensidad de la EKE promediada en 3 zonas puntuales cercanas a los arrecifes que confor-

man la CASGM (SAT, SAV y SALT) en el quiebre de la plataforma continental (figura 4). Esto se puede observar ya que cuando existe una intensificación del esfuerzo del viento, la cual es claramente periódica, con vientos intensos provenientes del norte (mayores a  $0.3 \text{ Nm}^{-2}$ ) durante el otoño-invierno, no forzosa-mente se observan picos simultáneos de EKE en ninguno de los tres sistemas arrecifales. Se realizó un conteo de los picos de EKE mayores a  $0.6 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$  (equivalente a dos desviaciones estándar, aproximadamente) y se comparó con la intensificación del viento, particularmente con dirección del Noreste-Noroeste, asociada a los “Nortes”. Se encontró que para el caso de



**Figura 4.** Panel superior: esfuerzo del viento diario promediado dentro del área:  $[97-94^\circ \text{ W y } 19-21^\circ \text{ N}]$ . Paneles inferiores: EKE promediada dentro de tres zonas de  $0.8$  grados en latitud y longitud para cada uno de los sistemas arrecifales: SALT  $[97.4-96.6^\circ \text{ W y } 21-21.8^\circ \text{ N}]$ , SAV  $[96.1-95.3^\circ \text{ W y } 19.0-19.8^\circ \text{ N}]$  y SAT  $[95.2-94^\circ \text{ W y } 18.4-19.2^\circ \text{ N}]$ . Las líneas horizontales grises indican  $0.6 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ , equivalente a dos desviaciones estándar de la EKE para los tres sistemas arrecifales. Notar que debido a la disponibilidad espacial de los datos de corrientes, las zonas promediadas son colindantes con los sistemas arrecifales y se encuentran sobre el quiebre de la plataforma continental, pero no coinciden con los recuadros indicados para los arrecifes del CASGM en las figuras 1, 2 y 3.

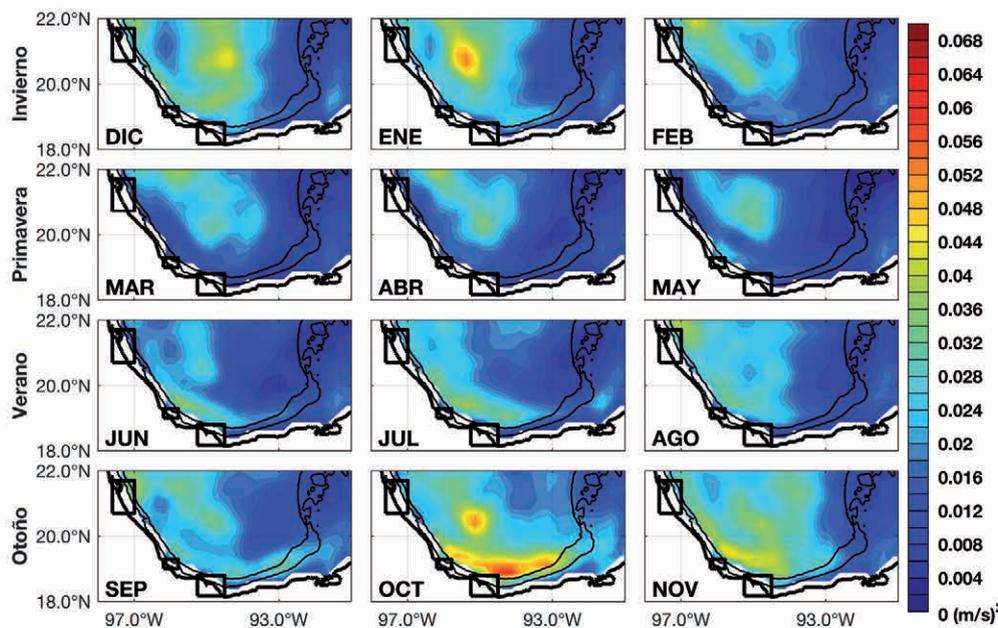
la EKE dentro del SALT, 14 de los 34 picos observados en los 23 años de datos, ocurrieron durante el verano (julio, agosto y septiembre), sin estar asociados a una intensificación importante del viento ( $> 0.3 \text{ Nm}^{-2}$ ). Además se observó a través de imágenes de MADT, que en los 14 eventos mencionados había un remolino de la corriente de Lazo en la zona oeste del golfo de México a una latitud cercana a los  $21^\circ\text{N}$ , colindando con la isóbata de 200 m. También se realizó el mismo análisis para la EKE dentro del SAV y SAT, encontrando que 10 de los 34 picos de EKE ( $> 0.6 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ ) no están relacionados con la intensificación del viento o la presencia de “Nortes” en la zona. Lo anterior sugiere que existe otro mecanismo como forzante de las corrientes locales del CAGSM además del esfuerzo del viento.

Para determinar patrones de circulación estacionales que favorezcan la interacción entre la circulación de mesoescala y de plataforma o el forzamiento de fenómenos como las surgencias en el quiebre de la plataforma, no solo se necesitan corrientes intensas, sino también una interacción o cercanía del GC con la plataforma. Durante los meses de invierno, la posición promedio del GC es al sur de la bahía de Campeche ( $95.6^\circ\text{W}$ ,  $19.7^\circ\text{N}$ , figura 3), colindando con la plataforma, particularmente en enero. Por otro lado, el patrón de corrientes asociadas al giro es parecido al promedio de los 23 años (figura 2), con flujo de mayor intensidad en la parte norte. Tanto la posición del GC como su intensificación al norte en esta época del año, se relacionan con la presencia de giros anticiclónicos al norte de los  $21^\circ$  de latitud. Estos giros provenientes de la corriente de Lazo tienden a deformar y modificar la posición del GC (Pérez-Brunius *et al.*, 2012). En la zona norte del CAGSM se tiene

una mayor probabilidad de observar anticiclones durante el verano y en menor medida durante el invierno, debido a la estacionalidad previamente reportada para la corriente de Lazo y el desprendimiento de remolinos asociados a la misma (Hall y Leben, 2016).

Durante la primavera, disminuye la intensidad del GC y muestra corrientes de aproximadamente la misma intensidad en toda su periferia, ya que en esta estación del año la actividad de los anticiclones disminuye (Hall y Leben, 2016). Por otro lado, en invierno se observa una intensificación en la parte oeste y sur del GC, como consecuencia de la presencia de los “Nortes” durante el otoño que incrementan la intensidad del giro en esta zona (Salas-Monreal *et al.*, 2017), así como la intensificación del rotacional del esfuerzo del viento (Vázquez de la Cerda *et al.*, 2005). En el promedio de largo plazo (figura 2), no se observa esta intensificación del flujo oeste-este al sur de la bahía de Campeche, ya que es compensado con el flujo de dirección opuesta (este-oeste) observado en verano. De la misma forma en el promedio de 23 años de la EKE, se observa un mayor aporte de energía en la parte norte del GC. Sin embargo, cuando analizamos la EKE de todo el sistema de forma estacional (figura 5), se observan meses del año en los que existe un aporte de energía asociada al GC sobre el quiebre de la plataforma continental, incluso de forma colindante con los arrecifes que forman el CASGM.

Reforzando lo observado en los patrones de corrientes, existe un incremento de EKE en la parte central de la bahía de Campeche ( $95.5^\circ\text{W}$ ,  $21^\circ\text{N}$ ) entre diciembre y mayo (figura 5). No necesariamente implica que el GC se encuentre separado de la plataforma, ya que el máximo de EKE en invierno se relaciona con



**Figura 5.** Promedios mensuales calculados entre 1993 y 2016 para la energía cinética turbulenta (EKE, definida en el texto). La isóbata de 200 m, tomada como el quiebre de la plataforma continental se encuentra indicada en negro, así como los arrecifes del CASGM.

la intensificación del giro en el norte, mientras que en primavera se observa menor cantidad de energía debido a la disminución en la intensidad del giro y de las corrientes asociadas. En estos meses se esperaría que el intercambio entre agua oceánica y costera sea menor al resto del año, así como poca probabilidad de surgencias topográficas, o eólicas (Zavala-Hidalgo, 2006; Salas-Pérez *et al.*, 2015). De junio a noviembre este comportamiento cambia y el aporte de energía asociado principalmente a circulación de mesoescala se encuentra cercano a la plataforma, a lo largo del talud continental en el sur de la bahía. Esta intensificación en la EKE es debida a dos patrones de circulación diferentes. En verano, el esfuerzo del viento con dirección predominante del sureste se intensifica (Zavala-Hidalgo *et al.*,

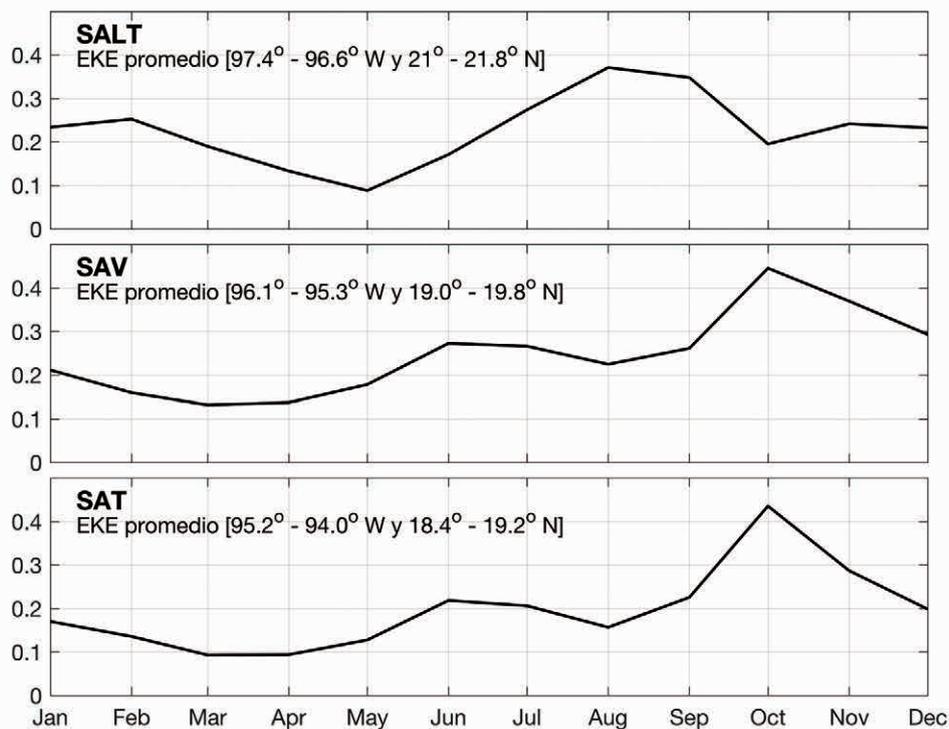
2003; Salas-Pérez *et al.*, 2015; Mateos-Jasso *et al.*, 2012), en sentido opuesto a la circulación del GC, por lo que tiende a inhibir esta circulación ciclónica. Esta circulación con dirección este-oeste ha sido explicada como un forzamiento directo del viento sobre la plataforma (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003); sin embargo, como se observó en la figura 4, la variabilidad local de las corrientes en la zona externa a los arrecifes del CASGM no responde de forma directa en todos los casos al comportamiento del viento en la bahía de Campeche. Por lo tanto, otra explicación para esta corriente zonal promedio observada en verano, podría ser a partir del flujo proveniente de la plataforma de Yucatán hacia el oeste y que, según Díaz-Flores *et al.* (2017), da origen al GC; este flujo por un lado se ve favorecido por

la dirección del viento, pero además se intensifica debido a la conservación de vorticidad potencial (Díaz-Flores *et al.*, 2017), resultando en una corriente zonal intensa que sigue la batimetría. Esta corriente se observa incluso sobre la plataforma continental, influenciando la circulación exterior de los arrecifes SAT y SAV. Aunado a lo anterior, este viento proveniente del sureste favorece las surgencias debidas a transporte de Ekman, lo que representa también un aporte de nutrientes para la zona arrecifal (Zavala-Hidaglo *et al.*, 2006; Mateos-Jasso *et al.*, 2012). Es importante mencionar que esta circulación zonal observada en los promedios, no necesariamente implica la ausencia de remolinos durante esta época, de hecho en las imágenes diarias (no presentadas) se observa la presencia de remolinos ciclónicos durante mayo-junio, que posteriormente se mueven hacia el sur de la bahía y se dispersan, formando posteriormente esta circulación a lo largo de la plataforma.

Finalmente durante el otoño, la EKE confirma la intensificación del flujo asociado con la variabilidad del sistema de corrientes durante octubre y noviembre, asociadas directamente al GC. En estos meses se observa un máximo de EKE, con valores promedio de hasta  $0.06 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$  en octubre, comparado con los  $0.054 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$  observados en enero. Este máximo de EKE indica una interacción de las corrientes asociadas al GC con la plataforma continental en las zonas colindantes con los arrecifes que forman el CASGM, principalmente el SAV y el SAT en octubre y noviembre, pero también el SALT, en menor medida, durante agosto, septiembre y noviembre. La época de surgencia en la zona arrecifal del SAV fue registrada a partir de mediciones directas durante mayo, junio y julio, principalmente, por Mateos-

Jasso *et al.* (2012); sin embargo, registran también algunos eventos durante septiembre y octubre, particularmente durante el 2010, aunque los autores atribuyen los eventos de surgencia a los vientos estacionales, los eventos observados durante el otoño, cuando los vientos del sureste han disminuido, podrían estar asociados a surgencias topográficas forzadas por la interacción de las corrientes intensas, en la parte sur del GC, con el quiebre de la plataforma continental.

La diferencia entre el comportamiento de la dinámica en los arrecifes del SALT y los del SAV y SAT, se observa en la evolución temporal de la EKE de forma local durante los 23 años de estudio. Como se puede observar en la figura 4, la variabilidad entre el SAT y el SAV es similar, con una correlación significativa de 0.66, lo cual implica que cuentan con un mecanismo de forzamiento similar entre ellos. Mientras que la correlación entre la EKE del SALT y los arrecifes del sur no es significativa ( $r < 0.1$ ). Esta diferencia también se puede observar con los valores de EKE promediados para cada mes desde 1993 hasta 2016 en la zona externa a cada uno de los tres arrecifes (figura 6). Para el caso del SALT, se observa un máximo en el mes de agosto-septiembre, mientras que en tanto para el SAT, como para el SAV el máximo de EKE se observa en octubre. De esta forma el mecanismo de mesoescala que tiene una mayor influencia sobre la circulación en la parte exterior al sur del CASGM es la posición e intensidad del GC, el cual domina durante el mes de octubre. Para el caso del SALT, son los remolinos anticiclónicos que se desprenden de la corriente de Lazo, los que tiene una mayor influencia sobre la circulación y el intercambio de agua en la zona de la plataforma, aportando una mayor energía en



**Figura 6.** EKE promediada para cada mes, a partir de las series de tiempo (1993-2016) de la figura 4. La EKE fue promediada dentro de tres zonas de 0.8 grados en latitud y longitud para las zonas con datos en cada uno de los sistemas arrecifales, indicados en la figura 2.

agosto-septiembre y en segundo lugar durante enero-febrero.

Los resultados expuestos en el presente trabajo coinciden con lo observado por Zavala-Sansón *et al.* (2018) a partir de boyas de deriva liberadas en diferentes puntos de la bahía de Campeche. Estos autores muestran como boyas liberadas en casi cualquier posición dentro del GC, pueden terminar dentro de los sistemas arrecifales del SAV y del SAT (ver figura 3); sin embargo, se observó una mayor

afluencia de boyas en esta zona cuando fueron liberadas a los 96° W, 20° N y a los 95.2° W, 19° N. De igual forma, al norte de los 21° N en la zona cercana al SALT, las boyas de deriva se mantuvieron separadas de la costa y no se observó una interacción directa importante con las aguas oceánicas de la zona profunda, coincidiendo con lo observado en el análisis a largo plazo de las corrientes y la EKE en el presente estudio.

## CONCLUSIONES

En el presente estudio, se mantiene la teoría de que el esfuerzo del viento es el principal forzamiento de la circulación promedio sobre la plataforma (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; 2006); sin embargo, este estudio propone un enfoque diferente, donde se estudia esta circulación no solamente de forma aislada, sino que considera la interacción con la circulación de mesoescala, particularmente el GC. Esta circulación es considerada como una componente importante en el CASGM, demostrando su interacción con el quiebre de la plataforma, así como su influencia sobre la circulación de la plataforma continental y posible impacto en el CASGM, principalmente en la circulación por debajo de la termoclina, no solo a nivel de circulación y renovación de agua, sino también a nivel biológico a través del aporte de nutrientes y el intercambio de larvas.

Las estaciones de mayor probabilidad para que exista este intercambio entre la zona costera y la profunda es durante verano y otoño (julio–octubre, principalmente). De esta manera se concluye que los dos forzantes principales del patrón de corrientes en el CASGM son el esfuerzo del viento y los remolinos de mesoescala. Esta dinámica genera una división entre la zona norte (SALT) y sur (SAT y

SAV) del CASGM, tomando como un parte aguas la latitud de 21° N. De esta manera, los giros de mesoescala que caracterizan el golfo de México, tales como los giros de la corriente de Lazo al norte y el GC al sur, pueden ser un factor indirecto para explicar las posibles diferencias bióticas entre el SALT y los arrecifes que conforman el SAV y el SAT. A partir de los 23 años de datos analizados, se determinó que aproximadamente el 30 % de los picos de EKE podrían estar asociados a la interacción de la plataforma con el GC, frente a los arrecifes del SAV y SAT; mientras que al norte frente al SALT, alrededor de 40 % de los picos observados en la EKE podrían asociarse a la interacción de remolinos de la corriente de Lazo con el quiebre de la plataforma.

De cualquier forma, es necesario cuantificar con mayor detalle la variabilidad asociada a la fricción superficial (viento) y la asociada a la advección producto de la interacción de la circulación de mesoescala con la plataforma continental y los fenómenos asociados a esta interacción. De la misma forma se requiere evaluar con mayor detalle en estudios posteriores que tan representativo de la variabilidad año con año es la estacionalidad del GC evaluada en este estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los datos de satélite utilizados para el presente estudio fueron proporcionados por *Copernicus Emergency Management Service* (© *European Union, 2012-2018*). Estos datos son desarrollados y validados por el Centro para Estudios To-

pográficos del Océano y de la Hidrósfera (СТОИ/ LEGOS, Francia: *Merger geophysical data records*). Los datos de esfuerzo del viento son proporcionados por el Centro Europeo de Predicciones Climáticas (<https://www.ecmwf.int>).

## LITERATURA CITADA

- Athié, G., J. Candela, J. Ochoa & J. Sheinbaum, 2012. Impact of Caribbean cyclones on the detachment of Loop Current anticyclones. *Journal of Geophysical Research*, 117, C03018, doi: 10.1029/2011JC007090.
- Berrisford, P., P. Kallberg, S. Kobayashi, D. Dee, S. Uppala, A. J. Simmons, P. Poli & H. Sato, 2011. Atmospheric conservation properties in ERA-Interim. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137:1381–1399.
- Díaz-Flores, M.A., D.A. Salas, & M.A. Monreal-Gómez, 2017. Origen y evolución del giro ciclónico de la Bahía de Campeche, Golfo de México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3): 441–450.
- Hall, C.A. & R.R. Leben, 2016. Observational evidence of seasonality in the timing of Loop Current Eddy separation. En: A. Lugo-Fernández & P. Hamilton (eds). *The Loop Current Dynamics Experiment. Dynamics of Atmospheres & Oceans*, 76(2): 155–344. doi: 10.1016/j.dynatmoce.2016.06.002.
- Mateos-Jasso, A., J. Zavala-Hidalgo, R. Romero-Centeno & M.E. Allende-Arandia, 2012. Variability of the thermohaline structure in the northern Veracruz Coral Reef System, Mexico. *Continental Shelf Research*, 50(51). doi: org/10.1016/j.csr.2012. 10.001.
- Ortiz-Lozano L, H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez & J. Martos, 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86: 22–32.
- Perales-Valdivia, H., R. Sanay-González & M. Marín-Hernández, 2015. Variación temporal de la estructura termohalina en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *E-Bios*, 2(8): 124–137.
- Pérez-Brunius, P., P. García-Carrillo, J. Dubranna, J. Sheinbaum & J. Candela, 2012. Direct observations of the upper layer circulation in the southern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research II* 85: 82–94.
- Riverón-Enzástiga, M., N. Carbajal & D. Salas-Monreal, 2016. Tropical coral reef system hydrodynamics in the western Gulf of Mexico. *Scientia Marina*, 80(2): 237–246.
- Salas-Monreal D., D.A. Salas-de-León, M.A. Monreal-Gómez & M.L. Riverón-Enzástiga, 2009. Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs*, 28: 871–879.
- Salas-Monreal, D., J.J. Salas-Pérez, D.A. Salas-de-León, M.A. Monreal-Gómez, H. Pérez-España, L.D. Ortiz-Lozano, A. Granados-Barba, M.L. Riverón-Enzástiga & C.A. Villegas-Sánchez, 2017. Corrientes superficiales dentro del corredor arrecifal del Suroeste del Golfo de México. *UVserva* 3.
- Salas-Monreal, D., M. Marín-Hernández, J.J. Salas-Pérez, D.A. Salas-de-León; M.A. Monreal-Gómez & H. Pérez-España, 2018. Coral reef connectivity within the Western Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems* 179.
- Salas-Pérez, J.J., A.N. Ocaña-Valencia & C. González-Gándara, 2015. Temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-a en zonas arrecifales y desembocadura de sus ríos en el Golfo de México occidental. En: A. Granados-Barba, L.D. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del sistema Arrecifal Veracruzano: Hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche, México. 366 pp.
- Vázquez de la Cerda, A.M., R.O. Reid, S.F. Di-Marco & A.E. Jochens, 2005. Bay of Campeche Circulation: An Update. En: W. Sturges & A. Lugo-Fernández (eds). *Circulation in the Gulf of Mexico: Observations & Models*. Geophysical Monograph Series, vol. 161. American Geophysical Union, Washington, DC. 347 pp.

- Zavala-Hidalgo, J., S.L. Morey & J.J. O'Brien, 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research* 108(C12). doi:10.1029/2003JC001879.
- Zavala-Hidalgo, J., A. Gallegos-García, B. Martínez-López, S.L. Morey & J.J. O'Brien, 2006. Seasonal upwelling on the Western and Southern Shelves of the Gulf of Mexico. *Ocean Dynamics*, 56: 333-338.
- Zavala-Sanson L., J. Sheinbaum & P. Pérez-Brunius, 2018. Single-particle statistics in the southern Gulf of Mexico. *Geofísica Internacional*, 57(2): 139-150.



Salas-Monreal, D., G. Athié y M. Marín-Hernández, 2019. Frentes Térmicos, Partículas Suspendidas, Clorofila-*a* y Corrientes del Suroeste del Golfo de México, p. 55-74. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Frentes Térmicos, Partículas Suspendidas, Clorofila-*a* y Corrientes del Suroeste del Golfo de México

*David Salas-Monreal*<sup>1\*</sup>, *Gabriela Athié*<sup>2</sup> y *Mark Marín-Hernández*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Intituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

<sup>2</sup>Cátedra CONACYT-Intituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

\*davsalas@uv.mx

## RESUMEN

El modelo numérico “*Regional Ocean Model System*” (ROMS), forzado con datos diarios de satélite (mareas, velocidad del viento, velocidades geostroficadas, temperatura superficial del mar y clorofila-*a*) entre el 24 de mayo del 2015 y el 23 de mayo del 2016, fue corrido con dos resoluciones espaciales diferentes (1x1 y 5x5 km) para obtener los patrones característicos de las corrientes en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM). Los resultados muestran que el patrón común observado a lo largo del año cuenta con una componente principal que se dirige desde el norte, *i.e.* del Sistema Arrecifal de los Tuxtlas (SAT) hacia el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), usando al Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) como un área donde algunas larvas de coral y otros organismos pueden asentarse. Finalmente, se encontró que la conexión entre sistemas arrecifales es más favorable de agosto a mayo, mientras que de mayo a agosto la cantidad de partículas simuladas (mediante el modelo numérico, ROMS), que llegan de un sistema arrecifal a otro disminuye, quedándose dichas partículas “estancadas” en el área donde se localiza una alta concentración de clorofila-*a* dentro del CASGM.

**Palabras clave:** patrón de corrientes, variables hidrográficas, Clorofila-*a*, frentes térmicos.

## ABSTRACT

The characteristic patterns of the currents in the corridor of the southwest of the Gulf of Mexico (CASGM) were obtained with the numerical model “*Regional Ocean Model System*” (ROMS) using two spatial resolutions (1x1 and 5x5 km), forced with daily satellite data (tides, wind speed, geostrophic velocities, sea surface temperature and chlorophyll-a) between May 24, 2015 and May 23, 2016. The results showed that the common pattern observed throughout the year has a main northward component, *i.e.* from the Tuxtla Reef System (SAT) to the Lobos-Tuxpan Reef System (SALT), using the Veracruz Reef System (SAV) as an area where some coral larvae and other organisms can settle. Finally, it was found that the connection between reef systems is more favorable from August to May, while from May to August the number of simulated particles (using the numerical model, ROMS), that arrive from one reef system to another decreases, leaving some particles “Stagnant” in the area where high concentrations of chlorophyll-*a* were located within the CASGM.

**Keywords:** Current pattern, hydrographic variables, chlorophyll-*a*, thermohaline fronts.

## INTRODUCCIÓN

Los diferentes sistemas arrecifales localizados en el suroeste del golfo de México, se conectan por una serie de arrecifes aislados emergidos y sumergidos, muchos de los cuales no han sido reportados a la fecha (Salas-Monreal *et al.*, 2017; Ortiz-Lozano *et al.*, 2018). Entre ellos, se localiza el llamado Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) propuesto por Ortiz-Lozano *et al.* (2013), que incluye los arrecifes del área natural Sistema Arrecifal de los Tuxtlas (SAT) en el extremo sur y al norte el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), teniendo al centro de ellos al Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Los arrecifes de coral son sistemas de importancia ecológica ya que proveen de alimento y refugio a diversas especies. Dentro de estos ecosistemas hay especies que solo pueden desplazarse durante su etapa planctónica, como pueden ser los corales que son transportados por las corrientes que los desplazan de un arrecife a otro dentro de dicho corredor, dependiendo de la temporada del año (Salas-Monreal *et al.*, 2018). La conectividad entre los tres grandes sistemas arrecifales del

CASGM depende del patrón de corrientes predominante durante la etapa planctónica de cada organismo. Por lo tanto, es importante conocer el patrón de corrientes dominantes durante cada temporada del año, así como conocer los forzantes oceanográficos que ayudan a entender la variabilidad que existe en el patrón de corrientes y en las variables hidrográficas dentro del CASGM (Salas-Monreal *et al.*, 2018). Sin embargo, para obtener la climatología del CASGM, se necesitaría al menos una década de datos, lo cual no se realizó en este trabajo, ya que el objetivo principal es ver si los frentes térmicos funcionan como barreras para las larvas de coral. Por tal motivo, se usó solamente un año de datos para describir el efecto de los frentes térmicos sobre la dispersión de las larvas de coral.

La cantidad de larvas, o partículas suspendidas, que pueden llegar de un sistema a otro depende inversamente de la variabilidad del patrón de corrientes y de las variables hidrográficas (salinidad y temperatura), ya que éstas forman frentes termohalinos (Salas-Pérez *et al.*, 2018; Salas-Monreal *et al.*, 2018); esto

es, mientras menor sea la variabilidad de las corrientes (velocidades más constantes), de la temperatura y de la salinidad entre los sistemas arrecifales, mayor es la probabilidad de que las larvas lleguen a mayores distancias. Los frentes son barreras físicas que inhiben la dispersión de organismos planctónicos evitando la conexión temporal entre los diferentes sistemas arrecifales del CASGM.

La conexión entre los arrecifes depende de la dirección de la corriente, mientras que su asentamiento depende de la magnitud de la corriente y del tipo de fondo. La dirección de la corriente en esta área varía dependiendo de las condiciones meteorológicas (Salas-Pérez *et al.*, 2012; Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016), contando con una conexión del SAT hacia el SALT durante el verano y viceversa durante el invierno (Salas-Monreal *et al.*, 2018). Los frentes termohalinos, en cambio, se presentan con mayor frecuencia durante la temporada de lluvias (Avendaño-Álvarez *et al.*, 2017). En la desembocadura de los ríos, las lluvias producen cambios en la salinidad y temperatura (frentes termohalinos), fungiendo como barreras físicas que inhiben la dispersión de los organismos planctónicos.

La conectividad que existe entre los diferentes sistemas arrecifales ha sido previamente demostrada mediante modelos numéricos (Anderberg, 2014; Salas-Monreal *et al.*, 2018), con datos biológicos (Murphy y Hulburt, 1999; Carricart-Ganivet, 2004; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013; Johnston y Akins, 2016) y mediante análisis genéticos (Villegas-Sánchez *et al.*, 2013). Estos sistemas son importantes porque albergan al menos un cuarto de las especies marinas conocidas (Sheppard *et al.*, 2009) y cuentan con una actividad biológica (refugio, alimentación y reproducción)

mayor a la de otros ecosistemas por unidad de área.

En el CASGM, particularmente en el SAV, el mayor periodo de desove de corales es aproximadamente 10 días después de la luna llena de agosto (Chacón-Gómez *et al.*, 2013) y, hasta el momento, se considera que, tanto las corrientes de marea como las corrientes eólicas son los mecanismos que dispersan las larvas del coral, reforzando la conectividad entre los arrecifes del CASGM (Salas-Monreal *et al.*, 2009). Actualmente, se conoce la variabilidad de las corrientes (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008; Salas-Pérez *et al.*, 2018a; Salas-Monreal *et al.*, 2018) y los efectos de los frentes termohalinos (Salas-Pérez *et al.*, 2018b; Salas-Monreal *et al.*, 2018) para cada uno de los sistemas arrecifales por separado; sin embargo, en este capítulo se utiliza un modelo de alta resolución (1x1 km) para reproducir el patrón de corrientes y los frentes térmicos reportados de forma separada en el SALT, SAV y SAT, con la finalidad de describir el efecto de dichos frentes sobre la dispersión de las larvas de coral dentro del CASGM. La ventaja de usar un modelo de alta resolución es que permite encontrar cualquier similitud o diferencia que pueda existir y comprobar las rutas que favorecen la conectividad en el CASGM.

La dispersión y la conectividad entre arrecifes favorecen la evolución de las especies (Sheppard *et al.*, 2009); sin embargo, los mecanismos de dispersión no son exclusivos para las larvas de coral, especies invasoras aprovechan esos mecanismos para extender su área de influencia, un ejemplo es el pez león (*Pterois volitans/miles*), quien ha logrado extenderse al mar Caribe y el golfo de México (Andrefount *et al.*, 2002), reduciendo la biodiversidad y la biomasa de los siste-

mas arrecifales (Arias-González *et al.*, 2011; Salas-Monreal *et al.*, 2017; Jordán-Garza *et al.*, 2017; Colín-García *et al.*, 2018). Por lo tanto, es importante determinar los mecanismos que favorecen la conectividad de especies de coral, como de especies invasoras entre los arrecifes del CASGM.

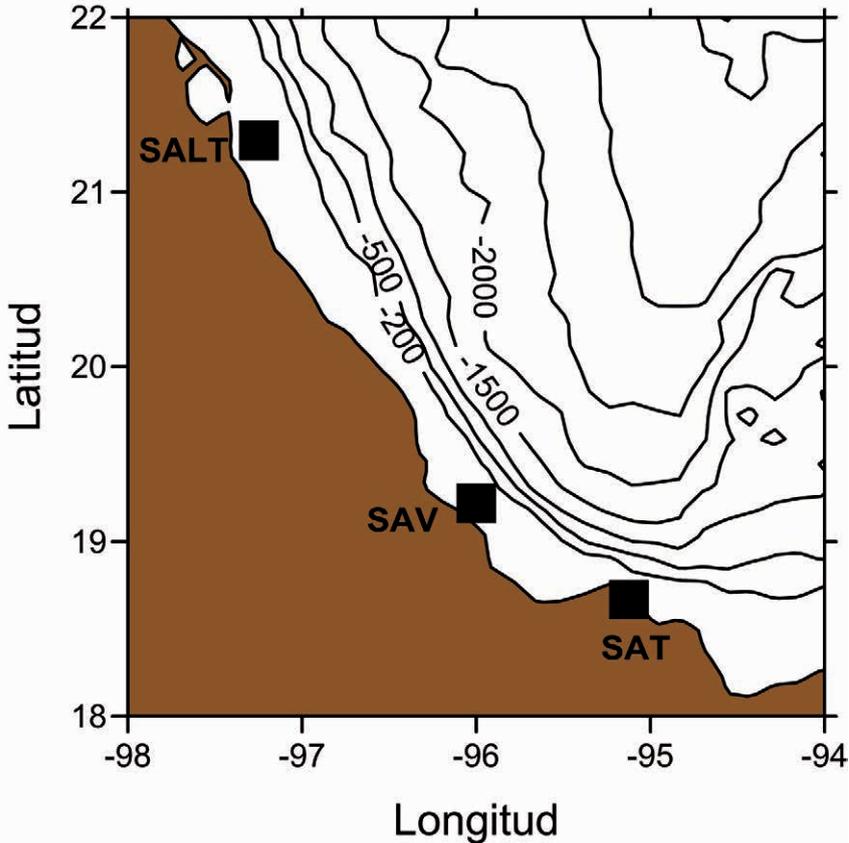
Debido a que existe una conexión entre las corrientes y la conectividad entre especies arrecifales, y dado que existen estudios previos en el SAV, SALT y SAT relacionados con la dinámica arrecifal (las corrientes predominantes), y los forzantes que generan dichas corrientes, como los giros ciclónicos y anticiclónicos, las corrientes de marea, las corrien-

tes generadas por cambios de densidad y por efectos del viento, entre otros (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008; Salas-Pérez *et al.*, 2018a,b; Salas-Monreal *et al.*, 2018), en este capítulo no se estudiaron los tres sistemas de forma separada, sino que se usó el *Regional Ocean Model System* (ROMS) con una escala de 1x1 km para estudiar el patrón de corrientes mencionado en publicaciones previas de forma local y aportar su efecto en la conectividad a una escala regional, considerando de manera global y no separada por sistema arrecifal (SALT, SAV, SAT), adicionalmente se modelaron los frentes térmicos y su efecto en la conectividad.

## MÉTODOS

El CASGM se localiza en el suroeste del golfo de México (figura 1); un aspecto de su relevancia ecológica está determinada por la conectividad de los sistemas arrecifales de esta región con los del mar Caribe, al ser sitios estratégicos donde se asientan y desovan especies de coral, entre otros organismos (Jordán-Garza *et al.*, 2017). En este estudio, se analiza el patrón de corrientes para determinar las posibles rutas de conexión que existen entre los diferentes sistemas arrecifales del CASGM, así como la temperatura que genera frentes térmicos que inhiben la dispersión de las larvas. Esto se hizo mediante un modelo numérico (ROMS), a escala de 1x1 km, que permite reproducir las modificaciones generadas por los arrecifes e islas con dimensiones de 1 km<sup>2</sup> o mayores. Las rutas obtenidas en este trabajo son la clave para entender la distribución de los arrecifes (emergidos y sumergidos) a lo largo del CASGM.

Se determinó el patrón de corrientes estacionales, de las velocidades geostroficas de la corriente, obtenidas mediante datos satelitales con una resolución de 0.25° (25 km) del *Ssalto/Duacs multi-mission altimeter*, el cual usa varios satélites (*Merged-delayed time products product*) para obtener los datos mundiales. Los datos de satélite fueron usados como condición inicial en las fronteras, mientras que los datos usados al interior del área de estudio se obtuvieron mediante la ecuación de momento (Salas-Monreal *et al.*, 2018a) y los parámetros usados por Salas-Monreal *et al.* (2018b), los cuales fueron corregidos usando la topografía existente en el CASGM (Salas-Monreal *et al.*, 2018; Ortiz-Lozano *et al.*, 2018) y los perfiles de temperatura y salinidad existentes (Salas-Pérez *et al.*, 2018a,b; Salas-Monreal *et al.*, 2018) dado que el modelo se corre de forma baroclínica.



**Figura 1.** Localización de los tres sistemas arrecifales (SALT, SAV y SAT) en la zona costera de Veracruz.

Finalmente, los datos de marea se obtuvieron mediante las estaciones del sistema mareográfico nacional (<http://www.mareografico.unam.mx/portal/>) ubicadas en las ciudades portuarias. Usando dichos datos se confirmó la existencia de dos temporadas (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008; Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016), cuando las corrientes se dirigían hacia el sur (del SALT hacia el SAT) de mayo a agosto del 2015 y cuando su componente principal se dirigía hacia el norte (SAT hacia SALT) de agosto del 2015 a mayo del 2016. Dichas temporadas se obtuvieron cuando más del 70 % de las corrientes (norte-sur) eran po-

sitivas (corrientes hacia el norte) o negativas (corrientes hacia el sur), esto se debe a que la señal de mesoescala influye fuertemente en el patrón local de corrientes del CASGM (Salas-Pérez *et al.*, 2012) por lo que las corrientes locales nunca van a estar polarizadas; esto es, siempre van a existir corrientes positivas y negativas dentro de cada temporada. Los datos de las velocidades obtenidas mediante la salida del modelo fueron filtrados para obtener la corriente residual, por lo que no se resolvieron las frecuencias menores a 24 h, con esto, el efecto de la marea queda descartado de este análisis; sin embargo, la corriente de marea

si fue usada para forzar el modelo, ya que el patrón de corrientes residuales obtenido mediante modelos numéricos es diferente si se usan las corrientes de marea como forzantes, que si se omiten dichas corrientes.

Los datos satelitales ([www.aviso.altimetry.fr/en/data/products.html](http://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products.html)), fueron usados para forzar el modelo numérico (ROMS). Las fechas obtenidas en este estudio para clasificar la temporada donde las corrientes dominantes (>70% de la ocurrencia) vienen del sur o del norte son particulares para el 2015-2016; estas fechas pueden cambiar para otros años dependiendo de las condiciones atmosféricas y oceanográficas. Esto no representa la climatología del CASGM (mínimo una década de datos); sin embargo, como el objetivo principal es ver los efectos de los frentes térmicos sobre la dispersión de las larvas de coral se decidió usar los datos anuales y no solo aquellos que coinciden con la temporada de lluvias, donde dicho efecto (frentes termohalinos) es más evidente.

Dentro del CASGM se utilizó el modelo (ROMS) ya que la resolución de los datos de satélite de la velocidad de las corrientes, temperatura y clorofila-a (25x25 o 4x4 km) no es adecuada, puesto que existen arrecifes e islas con dimensiones menores a dicha escala (625

o 16 km<sup>2</sup>). El modelo se inició usando los mismos parámetros que Salas-Monreal *et al.* (2018), aumentando la resolución de la malla a 1x1 km y fijando las descargas anuales de los ríos conforme a las series anuales usando los datos de la semarnat-cna. Con estos resultados se obtuvieron los diferentes factores que generan la variabilidad de la velocidad de la corriente, clorofila-a, y temperatura, así como las rutas más viables que favorecen la conectividad entre los sistemas arrecifales. Las salidas del modelo fueron validadas mediante los trabajos previos realizados en cada uno de los sistemas arrecifales (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008; Salas-Monreal *et al.*, 2009; Salas-Pérez *et al.*, 2012; Mateos-Jasso *et al.*, 2012; Allende-Arandia *et al.*, 2015; Vera-Mendoza *et al.*, 2016; Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016; Salas-Pérez *et al.*, 2018a,b; Salas-Monreal *et al.*, 2018); sin embargo, en este trabajo no se describirá la dinámica al interior de cada uno de los tres sistemas arrecifales (SALT, SAV, SAT), sino las trayectorias que los organismos planctónicos pueden tener entre cada uno de dichos sistemas arrecifales, mismas que favorecen la conectividad entre ellos y los efectos que los frentes térmicos producen en ellos.

## RESULTADOS

Los datos de satélite con una resolución de 25x25 km tienen la siguiente distribución espacial de mayo a agosto del 2015. La corriente se dirige principalmente hacia el norte, y cambia de agosto del 2015 a mayo del 2016, cuando la corriente se dirige principalmente hacia el sur. Las gráficas que se muestran a conti-

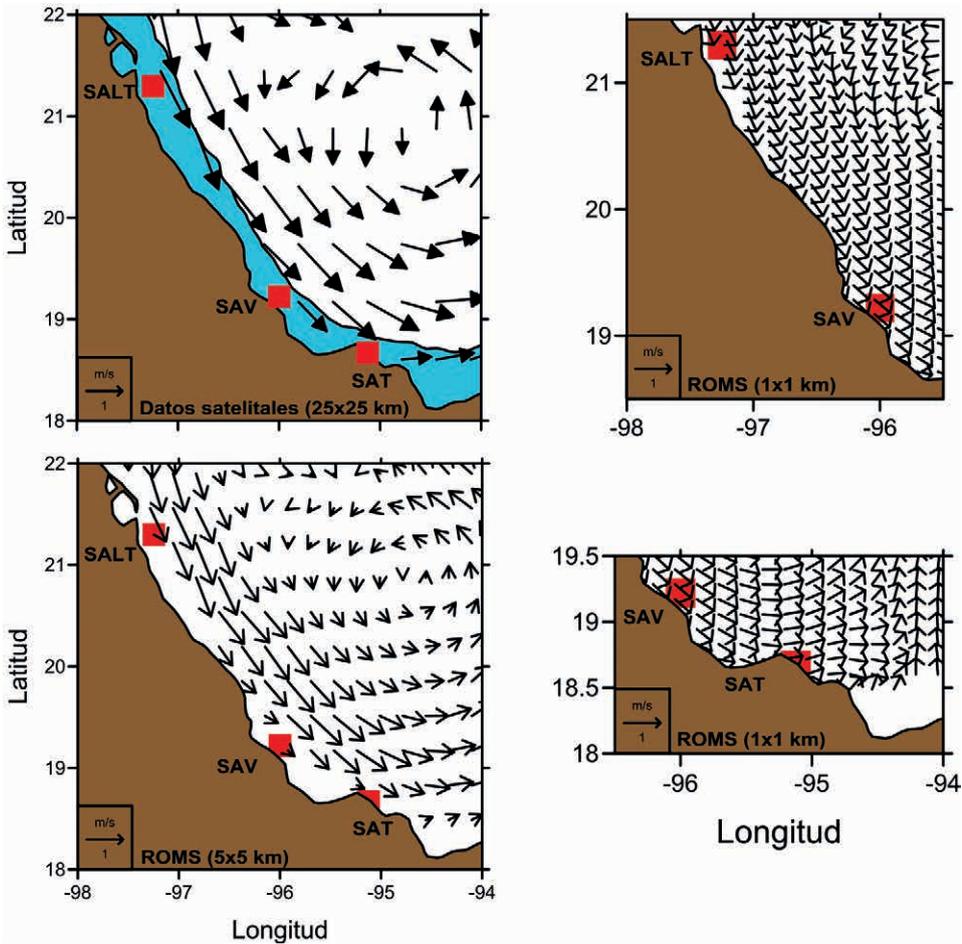
nuación son los datos de la moda (dirección y magnitud más frecuentes) obtenidos para cada uno de los dos periodos anteriores. En este capítulo no se muestran los histogramas de las velocidades debido a que la moda de los datos se obtuvo considerando cada punto de forma individual y no se hicieron promedios

espaciales, por dicho motivo si se presentaran los histogramas se tendrían más de 19 000 histogramas. La moda fue obtenida tanto para la magnitud como para la dirección con los datos diarios. Para la magnitud se asumieron valores con rangos desde  $-2 \text{ m s}^{-1}$  hasta  $2 \text{ m s}^{-1}$ , con un intervalo de  $0.2 \text{ m s}^{-1}$ , mientras que para el ángulo se usaron intervalos de  $15^\circ$ , teniendo un total de 24 ángulos de incidencia ( $360^\circ/24=15^\circ$ ). Para obtener las gráficas que se muestran en este trabajo se descargaron los datos mensuales de satélite (<https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/>) y se obtuvo la mejor correlación entre los datos mensuales y la moda obtenida mediante los datos diarios para cada uno de los dos periodos (cuando las corrientes dominantes van hacia el sur y cuando estas van hacia el norte, con más del 70 % de ocurrencia). Esto se hizo de forma estadística, ya que la correlación se hizo para los más de 19 000 puntos de la malla.

El patrón de corrientes obtenido de agosto a mayo del 2015 (figura 2) mediante los datos de satélite, muestran un giro ciclónico afuera de la plataforma continental entre el SALT y el SAV, y corrientes fluyendo paralelas a la costa sobre la plataforma continental. Este patrón de corrientes fue reproducido mediante el modelo numérico ROMS a una escala de  $5 \times 5 \text{ km}$  y, posteriormente, mediante este mismo modelo a una escala de  $1 \times 1 \text{ km}$ . Entre el SALT y el SAV se observa una ruta de transporte para los organismos en la plataforma continental, ya que dichos organismos pueden viajar siguiendo las isobatas ( $< 60 \text{ m}$ ). Cabe mencionar que usando el modelo a una escala de  $5 \times 5 \text{ km}$  la mayoría de los organismos se debería dirigir del SALT al SAV. Esto se confirmó usando 100 partículas, simuladas con el modelo, saliendo de cada uno de los tres sistemas

arrecifales (SALT, SAV y SAT). De las 100 partículas que salieron del SALT, el 83% de dichas partículas llegaron al SAV (figura 3).

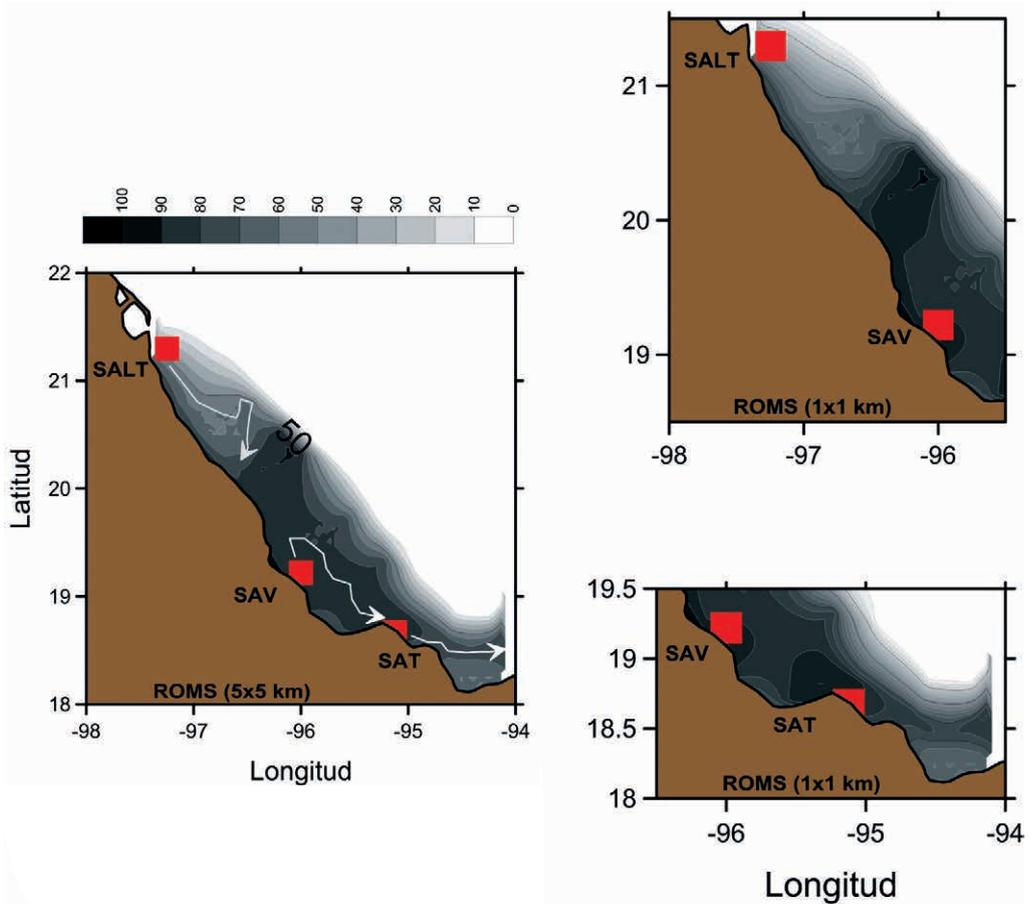
Las partículas asemejan organismos planctónicos o al ictioplancton asumiendo que dichas partículas no sufren de depredación; sin embargo, usando una resolución de  $1 \times 1 \text{ km}$ , la gran mayoría de las larvas de coral (54 % de las partículas) se dirigieron hacia la zona comprendida entre la Mancha y Chachalacas, mientras que el 36 % de las partículas llegaron al SAV, y las partículas restantes tomaron otros caminos. Los organismos planctónicos que salen del SAV usando una escala de  $1 \times 1 \text{ km}$  también deberían localizarse mayormente (45 % de las partículas) a una latitud de  $18.6^\circ \text{ N}$  y  $-95.3^\circ \text{ O}$ , mientras que usando una resolución de  $5 \times 5 \text{ km}$  dichos organismos se mueven del SAV hacia el SAT casi en su totalidad (89 %), 38 % más que en el caso anterior (51% de las partículas). Finalmente, las partículas que salen del SAT durante esta temporada también cuentan con una dirección hacia el sur, lo cual implica que muchos de los organismos planctónicos deben dirigirse hacia la bahía de Campeche (74%) en lugar de dirigirse hacia el este (centro del golfo de México). Las partículas suspendidas fueron incluidas en este modelo con la finalidad de determinar si lo que se sugiere con el patrón de corrientes es realmente lo que debe de ocurrir. En este caso se puede observar que en su mayoría las trayectorias sugeridas con el patrón de corrientes son las que siguen las partículas suspendidas; sin embargo, también se puede observar que en los lugares en donde existe un frente térmico dichas partículas disminuyen, es decir, usan caminos alternos o se quedan “bloqueadas” en el frente térmico (donde las isotermas están más pegadas).



**Figura 2.** Patrón de corrientes típico del 24 de agosto al 25 de mayo del 2015. El color azul en la gráfica de los datos de satélite representa la plataforma continental con profundidades menores a los 200 m.

La concentración de clorofila-*a* obtenida con el ROMS durante esta temporada (figura 4) fue previamente validada mediante los resultados obtenidos por Salas-Pérez *et al.* (2015) en cada uno de los sistemas arrecifales, una vez validadas las salidas del modelo, se usaron los datos para describir el CASGM como un solo sistema. Los datos de clorofila-*a* obtenidos usando las salidas del modelo con una resolución de 1x1 km muestran un lugar con altas concentraciones (SALT). Mientras

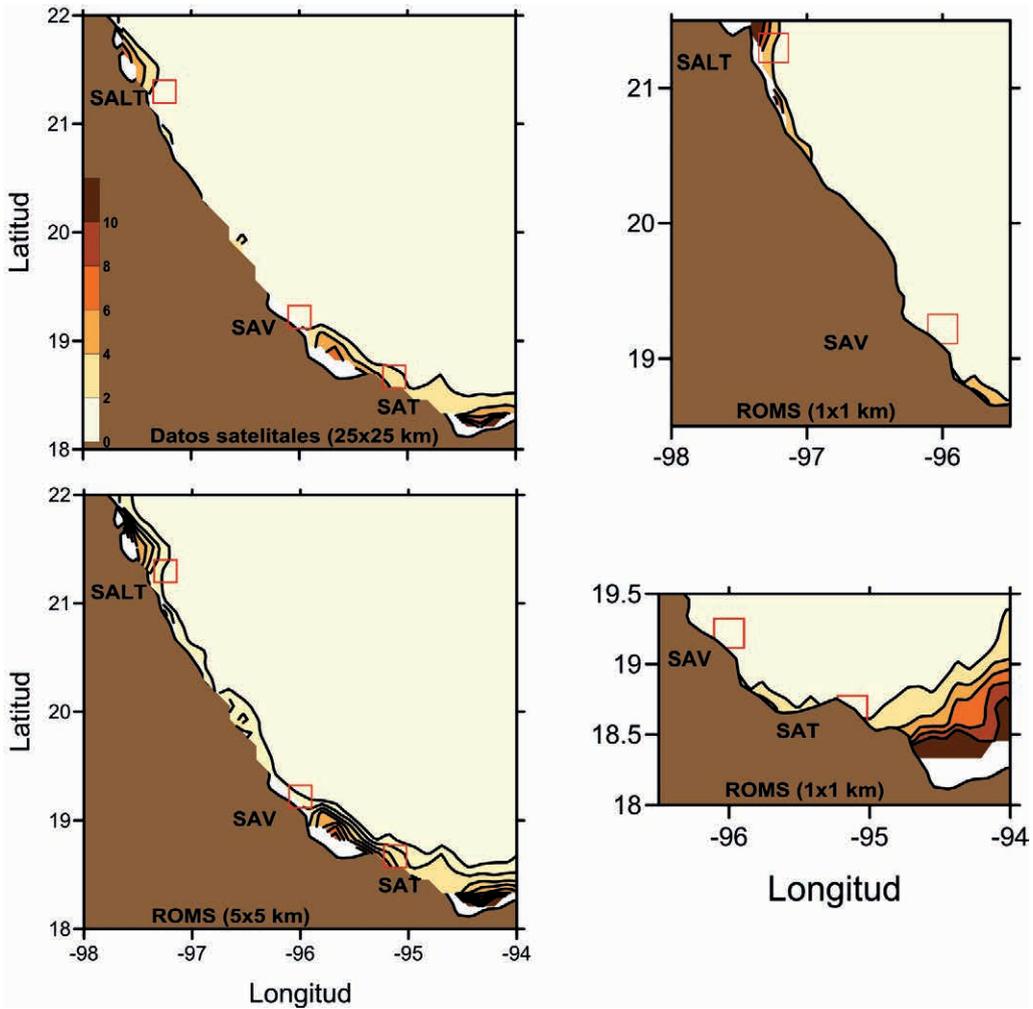
que usando las salidas del modelo de 5x5 km, ésta, muestra una alta concentración a lo largo de la plataforma continental con un máximo localizado entre el SAV y el SAT, mismo que coincide con el frente térmico (figura 5). El máximo localizado en este lugar también se observa con las salidas del modelo con una resolución de 1x1 km, lo que es consistente con el patrón de corrientes observado en la figura 2, donde se observa una gran concentración de partículas en esta región. El máxi-



**Figura 3.** Porcentaje de partículas suspendidas que pasan por cada punto de la maya después de 10 días de ser liberadas (100 partículas) en cada uno de los sistemas arrecifales (SALT, SAV, SAT). El vector blanco representa la trayectoria de una de las partículas suspendidas después de 10 días de modelación (usada como ejemplo).

mo observado aquí no ha sido reportado anteriormente, ya que la mayoría de los trabajos se han enfocado a estudiar los tres sistemas arrecifales de forma independiente y no las áreas comprendidas entre ellos. La zona sur del SALT también cuenta con concentraciones relativamente más altas (hasta 2 unidades mayores) que las observadas en sus alrededores; sin embargo, no son tan marcadas como aquellas localizadas entre el SAV y SAT.

El promedio de la temperatura superficial para el periodo de agosto-mayo (figura 5) también fue validado usando la información existente (Salas-Pérez *et al.*, 2015; Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016) dentro de los sistemas arrecifales. Los datos de temperatura obtenidos aquí muestran valores que oscilan entre los 25 y 30 °C, con valores más bajos en la parte costera que en mar abierto. Los valores mínimos se localizan sobre la zona del SALT

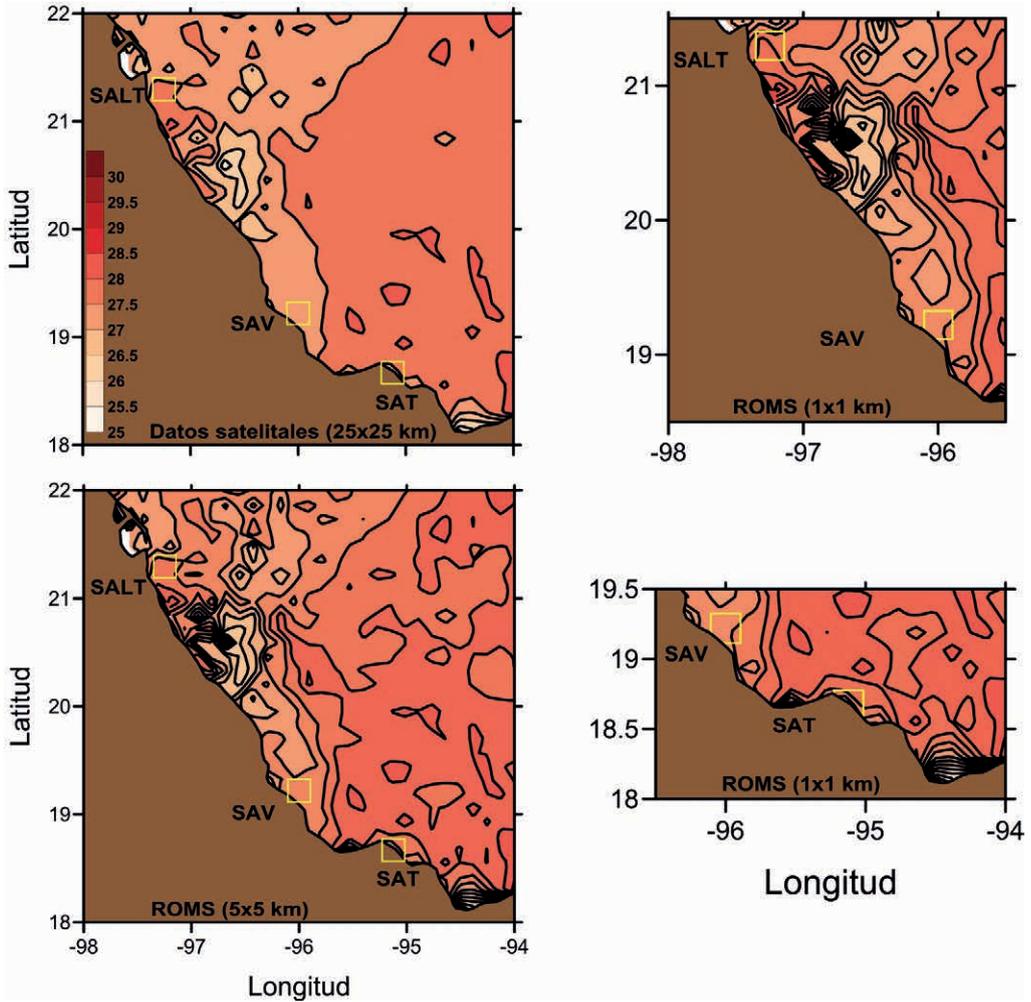


**Figura 4.** Concentraciones típicas de clorofila-a del 24 de agosto al 25 de mayo del 2015, obtenidas a partir de datos de satélite, y salidas del modelo con una resolución de 5x5 y 1x1 km.

y en la parte de la bahía de Campeche; sin embargo, también se puede apreciar una zona de menor temperatura, entre el SAV y el SAT, donde se encontraron altos valores de clorofila-a (figura 4). Como se puede observar existe una división de temperatura alrededor de los 28 °C entre la parte norte y sur del CASGM (~20.5 °C), lo cual sugiere un frente térmico, mismo que genera que la mayoría de las partículas se queden en la zona comprendida entre

la Mancha y Chachalacas como observado en la figura 3.

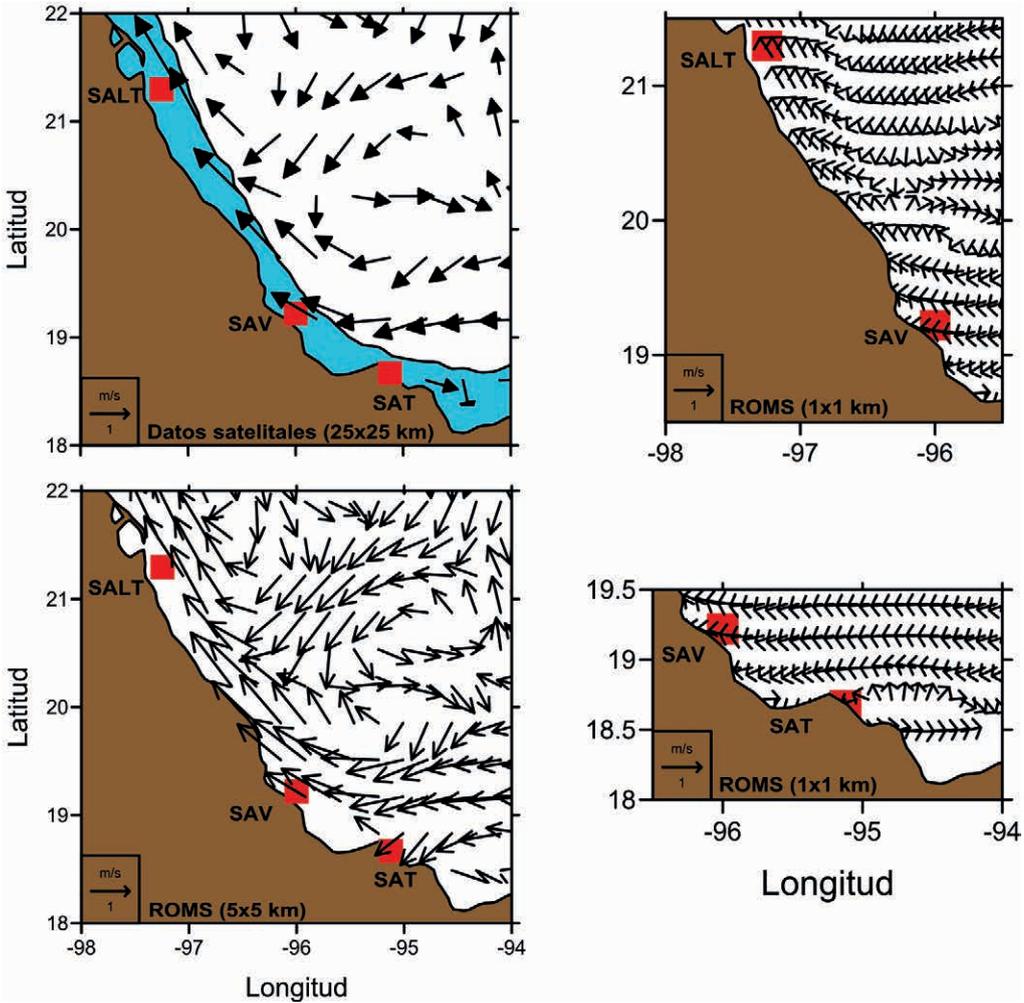
El patrón de corrientes obtenido para mayo-agosto, tanto con los datos de satélite, como con el ROMS a una resolución de 5x5 y 1x1 km (figura 6), muestra una componente principal hacia el norte, lo cual sugiere una conectividad entre los arrecifes SAT-SAV-SALT. Los datos de satélite y el ROMS con una resolución de 5x5 km muestran una conexión



**Figura 5.** Valores típicos de la temperatura superficial del mar del 24 de agosto al 25 de mayo del 2015, obtenidas a partir de datos de satélite, y salidas del modelo con una resolución de 5x5 y 1x1 km.

de forma directa por la plataforma continental, siguiendo las isobatas de los 20 a los 60 m, mientras que, usando el modelo con una resolución de 1x1 km, dicha conexión se da principalmente entre las isobatas de los 10 a 40 m de profundidad (82 % de las partículas simuladas siguen dichas isobatas). Una de las diferencias entre los tres arrecifes es la intensidad de las corrientes ya que el SALT cuenta con corrientes relativamente mayores ( $\sim$

$0.5 \text{ m s}^{-1}$ ) a las registradas en el SAV ( $\sim 0.25 \text{ m s}^{-1}$ ) o en el SAT ( $\sim 0.30 \text{ m s}^{-1}$ ). Cabe mencionar que estos resultados son la moda de las series diarias desde agosto del 2015 hasta mayo del 2016, motivo por el cual pueden existir eventos extremos, o de otra frecuencia de ocurrencia durante este periodo, los cuales no se reflejan en este análisis; sin embargo, los promedios estacionales de los eventos de mesoescala en la plataforma externa frente a



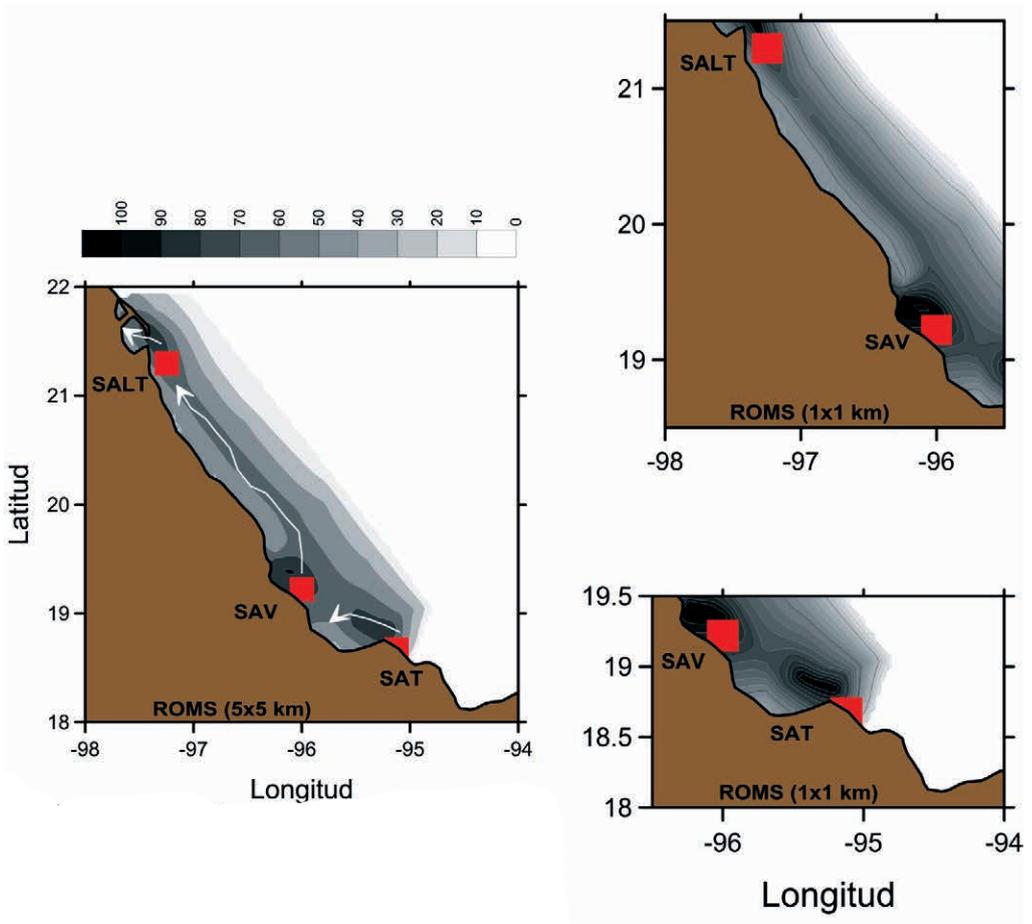
**Figura 6.** Patrón de corrientes típico del 26 de mayo del 2015 al 23 de agosto del 2016. El color azul representa la plataforma continental con profundidades menores a los 200 m.

Veracruz, y en el talud continental, deberían ser observados con este análisis (Salas-Pérez *et al.*, 2012).

La diferencia observada entre los resultados del modelo (ROMS) con una resolución de 5x5 km y de 1x1 km, da una diferencia de 12% en el total de las partículas simuladas que van del SAV al SALT y una diferencia de 32% entre las partículas que van del SAT al SAV, siendo menor la cantidad de partículas

que llegan de un sistema arrecifal a otro mientras mayor sea la resolución (figura 7). Esto se debe en gran medida a las modificaciones que una batimetría más fina ejercen sobre el patrón de corrientes. Con esta resolución muchas partículas se dirigen hacia la costa o se quedan atrapadas en los giros (Salas-Monreal *et al.*, 2009).

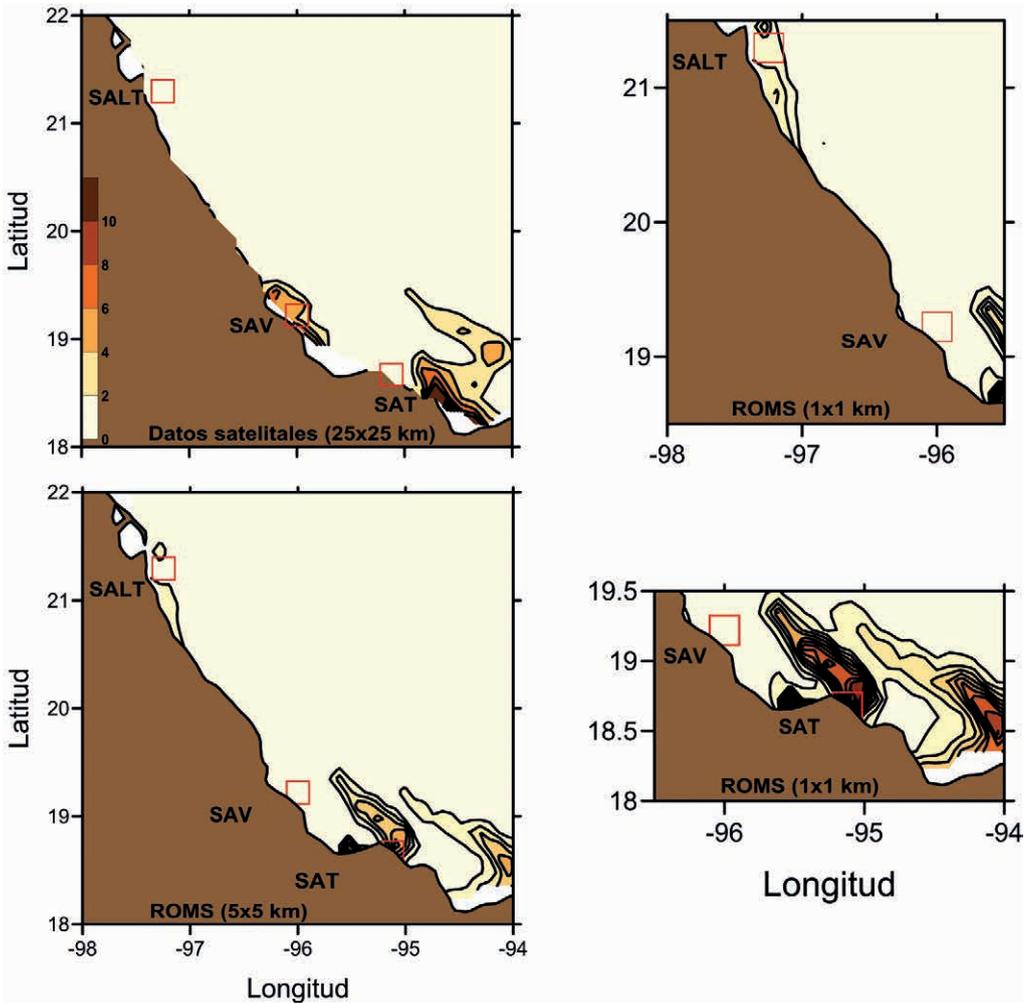
El patrón típico de la clorofila-*a* de mayo del 2015 a agosto del 2016 (figura 8), mues-



**Figura 7.** Porcentaje de partículas suspendidas que pasan por cada punto de la maya después de 10 días de ser liberadas (100 partículas) en cada uno de los sistemas arrecifales (SALT, SAV, SAT). El vector blanco representa la trayectoria de una de las partículas suspendidas después de 10 días de modelación (usada como ejemplo).

tra diferencias entre los datos de satélite y los datos modelados por el ROMS usando ambas resoluciones (1x1 y 5x5 km). En la plataforma continental interna; sin embargo, los datos modelados se asemejan más a lo reportado por Salas-Pérez *et al.* (2015; 2018 a,b) con datos mejor soportados que los datos de satélite al ser datos *in-situ* y no solo velocidades geostroficadas.

Usando el ROMS, existen similitudes entre los valores de la corriente marina encontrados en los tres sistemas arrecifales, con los valores reportados por Salas-Pérez *et al.* (2015). Los valores de clorofila-*a* obtenidos para esta temporada cuentan con un patrón mucho más local que el observado durante el periodo de agosto–mayo. Esto se debe a dos factores; al patrón de corrientes (figura 6) que limita la



**Figura 8.** Concentraciones típicas de clorofila-a del 26 de mayo del 2015 al 23 de agosto del 2016, obtenidas a partir de datos de satélite, y salidas del modelo con una resolución de 5x5 y 1x1 km.

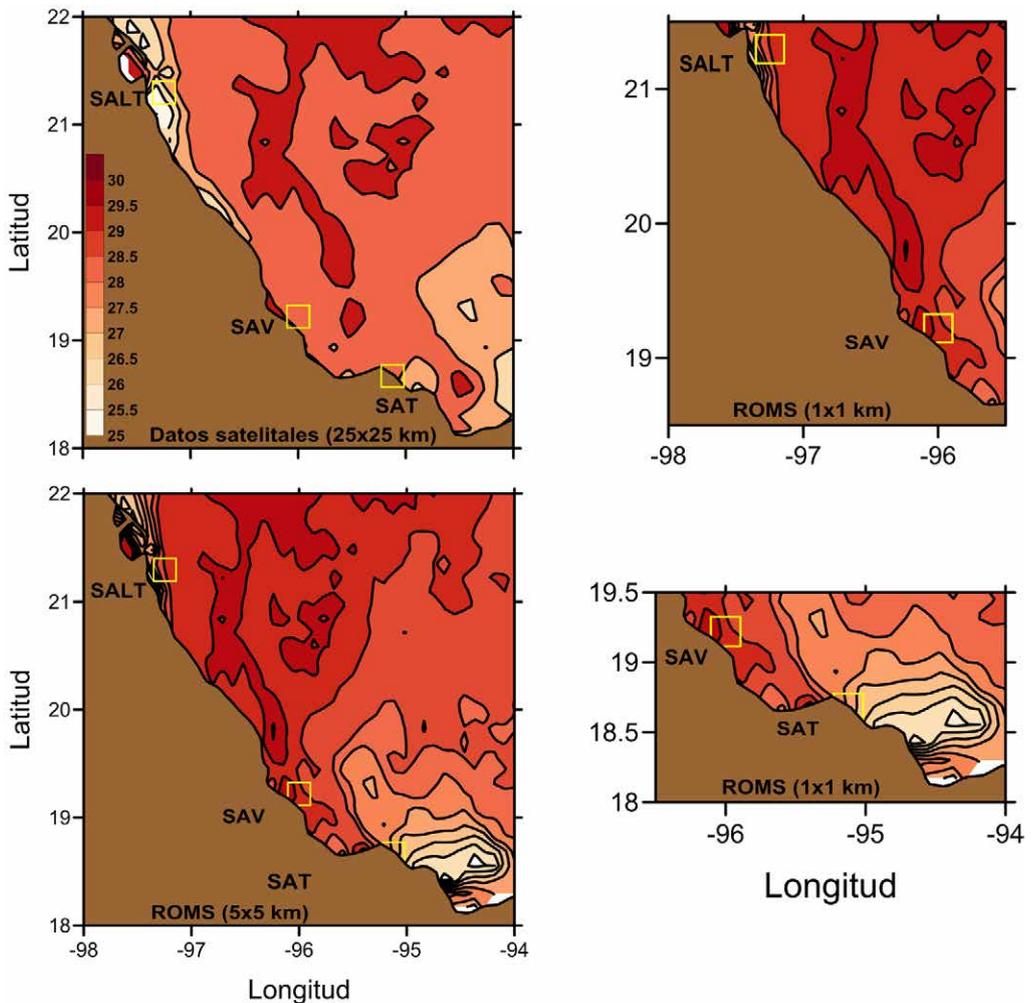
conexión entre las zonas arrecifales y a las descargas de los ríos (Salas-Pérez *et al.*, 2018a,b). En esta temporada el esfuerzo del viento favorece la resuspensión de los sedimentos del fondo marino, lo cual en áreas donde hay cambios abruptos de batimetría (islas y arrecifes) genera zonas con alta productividad primaria como en el SAV (Salas-Monreal *et al.*, 2009). En general los valores de clorofila-a observados mediante las salidas del ROMS

con una resolución de 1x1 km reproducen satisfactoriamente los observado previamente dentro de los tres sistemas arrecifales (Salas-Pérez *et al.*, 2012; 2018a,b). Dado lo anterior, se puede asumir que los valores obtenidos dentro del CASGM fuera de los tres sistemas arrecifales son confiables, de forma tal que la conexión entre los sistemas arrecifales es menor con una escala de 1x1 km que usando una resolución de 5x5 km. Esto se puede asumir

por el patrón de corrientes y por el hecho de que la concentración de clorofila-*a* cuenta con máximos locales que no están conectados entre ellos. Finalmente, también queda demostrado usando las partículas simuladas por el ROMS, que menos del 50 % de las partículas simuladas llegan de un sistema arrecifal a otro.

La temperatura superficial del mar de mayo del 2015 a agosto del 2016 (figura 9), mues-

tra diferencias entre el SALT y los arrecifes del sur (SAV y SAT) como fue reportado por Salas-Pérez *et al.* (2018 a,b). Los arrecifes del sur cuentan con temperaturas menores (26.5 °C) a las encontradas en el SALT (27.5 °C); sin embargo, durante la otra parte del año (figura 4) los arrecifes del sur son más cálidos (~30 °C) que el SALT (~26 °C). De esta manera, se muestra una diferencia de al menos 3 °C entre los arrecifes del sur (SAT y SAV) y el arrecife del



**Figura 9.** Valores típicos de la temperatura superficial del mar del 26 de mayo del 2015 al 23 de agosto del 2016, obtenidas a partir de datos de satélite, y salidas del modelo con una resolución de 5x5 y 1x1 km.

norte (SALT) del CASGM a lo largo del año. Se puede observar una diferencia muy marcada durante el verano, mientras que entre agosto y mayo esta diferencia es mucho menor (Salas-Pérez *et al.*, 2018a,b). Dado que los resultados anteriores coinciden con los trabajos previos realizados en cada uno de los sistemas arreci-

fales se puede considerar que los datos obtenidos mediante el ROMS también son válidos en todo el CASGM. De esta forma podemos ver un frente térmico entre el SAV y el SALT, que reduce la conexión entre dichos sistemas arrecifales como es observado con las partículas simuladas mediante el modelo (figura 7).

## DISCUSIÓN

El patrón de corrientes obtenido durante el periodo de desove de los corales (Salas-Monreal *et al.*, 2009; Chacón-Gómez *et al.*, 2013, Salas-Monreal *et al.*, 2018) se localiza en un mes de transición (agosto) para el patrón de corrientes. Mediante el periodo de muestreo usado en este estudio (2015-2016), se puede apreciar que el patrón de corrientes más común a lo largo del año es el observado de agosto a mayo (figura 6), es decir, corrientes provenientes del SALT hacia el SAT. En este capítulo se estudian las corrientes estacionales para la zona del corredor arrecifal, usando un modelo con diferentes escalas espaciales (1x1 y 5x5 km). Como se puede observar usando el modelo (ROMS) a una escala de 5x5 km, la cantidad de partículas simuladas que llegan de un sistema arrecifal a otro es mucho mayor (>20% más) que las que llegan cuando se usa el mismo modelo con una resolución mayor (1x1 km). Esto se debe en gran medida a la presencia de arrecifes e islas existentes entre cada sistema arrecifal, la cuales modifican el patrón de corrientes inhibiendo la conexión entre los sistemas arrecifales (figuras 3 y 7).

La concentración de clorofila-*a* medida en mg m<sup>-2</sup> (figuras 4 y 8) muestra diferencias significativas entre la zona de influencia de las tres áreas arrecifes y sus alrededores. Las

dos excepciones se localizan en la laguna de Tamiahua, al norte del SALT y al sur del SAT. La primera, cuenta con altas concentraciones de clorofila-*a* debido al aporte de los ríos y la dinámica de la propia laguna (Salas-Pérez y González-Gándara, 2016), mientras que la segunda, caracterizada por un máximo de clorofila-*a* en verano, se debe; 1) al aporte de ríos asociado a la temporada de lluvias (Salas-Pérez *et al.*, 2018a), 2) a surgencias asociadas al viento del sureste (Mateos-Jasso *et al.*, 2012), 3) a una consecuencia indirecta de la circulación de mesoescala, como el giro de Campeche (Salas-Pérez *et al.*, 2012; 2018b) o 4) a surgencias topográficas (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016). Durante el periodo más común, referente al patrón de corrientes, se puede observar que la concentración de clorofila-*a* es aproximadamente la misma en todo el CASGM (figura 8); sin embargo, durante la temporada de desove de los corales, la mayor concentración de clorofila-*a* dentro de los tres sistemas arrecifales se observa en el SAT (figura 4). Durante esta temporada se puede apreciar que la cantidad de partículas simuladas que llegaron de un sistema arrecifal (figura 7) a otro, fueron menores a mayor resolución de la malla (figura 3), teniendo una alta concentración de partículas simuladas

“estancadas” en las áreas donde se localizan las altas concentraciones de clorofila-*a* (figura 4). Esto implica que podrían existir más arrecifes, aun no reportados en estas áreas; sin embargo, esta hipótesis aun debe ser probada mediante muestreos locales en dichas áreas.

El efecto del giro de Campeche (Salas-Pérez *et al.*, 2012) se puede detectar mediante los contornos de temperatura (figura 5). El giro de Campeche se observa a lo largo de la isoterma de 28 °C, aproximadamente. Esto también se observa en la figura 9, de mayo a agosto cuando el frente térmico está definido por la isoterma de 27 °C, mostrando una di-

ferencia entre los arrecifes del norte (SALT y SAV) y el sistema arrecifal del sur (SAT). Estas diferencias son significativas para algunos organismos, esto puede incluso ser uno de los posibles causantes de las diferencias encontradas entre los arrecifes de coral del CASGM (Villegas-Sánchez *et al.*, 2013). Como se observa en las figuras 5 y 9, el frente térmico está más marcado entre el SALT y el SAV que entre el SAV y el SAT, esto también puede ser una causa por la cual existe una menor conexión entre dichos arrecifes, como se puede observar con la cantidad de partículas simuladas que llegan de un arrecife a otro (figuras 3 y 7).

## CONCLUSIONES

Usando series de tiempo obtenidas mediante datos de satélite entre el 24 de mayo del 2015 y el 23 de mayo del 2016, se obtuvieron los patrones característicos de las corrientes en el Corredor Arrecifal Veracruzano de Suroeste del Golfo de México (CASGM). Dichos datos se usaron para alimentar el modelo numérico *Regional Ocean Model System* (ROMS) con la finalidad de obtener los valores de la clorofila-*a*, temperatura superficial del mar y el patrón de corrientes dentro del CASGM. Con estos datos se concluyó que:

- De mayo a agosto del 2015, las corrientes se dirigían hacia el norte (>70% de ocurrencia), mientras que de agosto del 2015 a mayo del 2016 su componente principal se dirigía hacia el sur.
- Se observó que las descargas de los ríos y el giro de Campeche generan una di-

ferencia de hasta 3 °C en la temperatura superficial del mar, propiciando la generación de un frente térmico que inhibe la conexión entre los sistemas arrecifales.

- Se observó que, durante el verano (principal temporada de desove del coral), la mayoría de las partículas simuladas que no lograron ir de un sistema arrecifal a otro, se concentraron en las áreas de mayor concentración de clorofila-*a* y/o en los frentes térmicos, por lo que se asume que en estas áreas (entre La Mancha y Chachalacas: ~18.6° N y -95.3° O) pueden existir arrecifes no emergentes no descubiertos aun.

## LITERATURA CITADA

- Allende-Arandia, M.E., J. Zavala-Hidalgo, R. Romero-Centeno, A. Mateos-Jasso, J.M. Vargas-Hernández & L. Zamudio, 2015. Analysis of ocean current observations in the northern Veracruz Coral Reef System, Mexico: 2007–12. *Journal of Coastal Research*, 32(1):46-55.
- Anderberg, M.R., 2014. *Cluster Analysis for Applications: Probability & Mathematical Statistics: a Series of Monographs & Textbooks*. vol. 19 Academic Press.
- Andrefount, S., P.J. Mumby, M. McField, C. Hu & F.E. Muller-Karger, 2002. Revisiting coral reef connectivity. *Coral Reefs*, 21, 43–48. <http://dx.doi.org/10.1007/s00338-001-0199-0>.
- Arias-González, J.E., C. González-Gándara, J. Cabrera & V. Christensen, 2011. Predicted impact of the invasive lionfish *Pterois volitans* on the food web of a Caribbean coral reef. *Environmental Research*, 111(7):917-925.
- Avendaño-Álvarez, O., D. Salas-Monreal, M. Marín-Hernández, D.A. Salas de León & M.A. Monreal-Gómez, 2017. Annual hydrological variation and hypoxic zone in a tropical coral reef system. *Regional Studies in Marine Science*, 9:145-155.
- Carricart-Ganivet, J.P., 2004. Sea surface temperature and the growth of the West Atlantic reef-building coral *Montastraea annularis*. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 302:249–260.
- Chacón-Gómez, I., D. Salas-Monreal & M.L. Riverón-Enzástiga, 2013. Current pattern and coral larval dispersion in a tropical coral reef system. *Continental Shelf Research*, 68:23–32.
- Colín-García, N., J. Campos, J.L. Tello-Musi, H. Pérez-España & X. Chiappa-Carrara, 2018. First record of the invasive coral *Oculina patagonica* (Cnidaria, Scleractinian) in the Gulf of Mexico. *Check List*, 14(4):613-617.
- Johnston, M.W. & J.L. Akins, 2016. The non-native royal damsel (*Neopomacentrus cyanomos*) in the southern Gulf of Mexico: an invasion risk? *Invasive Species*, 163:12. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-015-2777-7>.
- Jordán-Garza, A.G., C. González-Gándara, J. Salas-Pérez, A. Morales-Barragán, 2017. Coral assemblages are structured along a turbidity gradient on the Southwestern Gulf of Mexico, Veracruz. *Cont. Shelf Research*, 138:32-40.
- Mateos-Jasso, A., J. Zavala-Hidalgo, R. Romero-Centeno, M. Allende-Arandia, 2012. Variability of the thermohaline structure in the northern Veracruz coral reef system, Mexico. *Continental Shelf Research*, 50:30-40.
- Murphy, S. & H. Hurlburt, 1999. The connectivity of eddy variability in the Caribbean Sea, the Gulf of Mexico, and the Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 104:1431–1453.
- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez & J. Martos, 2013. The reef corridor of the Southwest Gulf of Mexico: challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22–32.
- Ortiz-Lozano, L., C. Colmenares-Campos & A. Gutiérrez-Velázquez, 2018. Submerged Coral Reefs in the Veracruz Reef System, Mexico, and its implications for marine protected area management. *O. & Coas. Manag.*, 158: 11-23.
- Riverón-Enzástiga, M., N. Carbajal & D. Salas-Monreal, 2016. Tropical coral reef system hydrodynamics in the western Gulf of Mexico. *Scientia Marina*, 80(2):237-246.
- Salas-Monreal, D., D.A. Salas de León, M.A. Monreal-Gómez & M. Riverón-Enzástiga, 2009. Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs*. <http://dx.doi.org/10.1007/s00338-009-0521-9>.
- Salas-Monreal, D., J. Salas-Pérez, D.A. Salas de León, M.A. Monreal-Gómez, H. Pérez-España, L. Ortiz-Lozano, A. Granados-Barba, M. Riverón-Enzástiga & C. Villegas-Sánchez, 2017. Corrientes superficiales dentro del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. *UVserva*, (3).

- Salas-Monreal, D., M. Marín-Hernández, J. Salas-Pérez, D.A. Salas de León, M.A. Monreal-Gómez & H. Pérez-España, 2018. Coral reef connectivity within the Western Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems*, 179:88-99.
- Salas-Monreal, D., J. Jasso-Montoya, J. Salas-Pérez, D.A. Salas de León, M.A. Monreal-Gómez & M. Marín-Hernández, 2018. Oceanographic parameter variation of a coral larvae reef provider in the reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico. *Reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico*, 107-132.
- Salas-Moreal, D., A. Anis & D.A. Salas de León, 2018. Galveston Bay dynamics under different wind conditions. *Oceanologia*, 60(2):232-243.
- Salas-Pérez, J. & A. Granados-Barba, 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*, 21(3):281-301.
- Salas-Pérez J., D. Salas-Monreal, M.A. Monreal-Gómez, M. Riverón-Enzástiga & C. Llasat, 2012. Seasonal absolute acoustic intensity, atmospheric forcing and currents in a tropical coral reef system reference. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 100:102-112.
- Salas-Pérez, J. & C. González-Gándara, 2016. Fluctuaciones espaciales y temporales de la temperatura superficial del mar y las concentraciones de clorofila-a debido a forzamientos atmosféricos en una laguna costera tropical. *Ciencias marinas*, 42(1):49-65.
- Salas-Pérez, J., A. Ocaña-Valencia & C. González-Gándara, 2015. Temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-a en zonas arrecifales y desembocadura de sus ríos en el Golfo de México occidental. Pp. 315-332. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del sistema Arrecifal Veracruzano: Hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche, México. 366 pp.
- Salas-Pérez, J., G. Jordán-Garza, D., Salas-Monreal, C., González-Gándara & C., Domínguez-Barradas, C. 2018. Features and circulation of water masses in the reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico. *Reef Corridor of the Southwestern Gulf of Mexico* 39 pp.
- Salas-Pérez, J., Salas-Monreal, D., G., Jordán-Garza & C. Domínguez-Barradas, 2018a. Tides in the Reef Corridor of the Southwestern Gulf of Mexico. *Reef Corridor of the Southwestern Gulf of Mexico* 67 pp.
- Salas-Pérez, J., I. Ortigón-Burgos & A.G. Jordán-Garza, 2018b. Oceanographic and mixed layer fluctuations of a Cyclonic Eddy in the Southwestern Gulf of Mexico. *Reef Corridor of the Southwestern Gulf of Mexico* 107 pp.
- Sheppard, C., S. Davy & G. Pilling, 2009. *The Biology of Coral Reefs: biology of habitats*. Oxford University Press, Oxford. 352 pp.
- Vera-Mendoza, R., D. Salas de León, D. Salas-Monreal & M. Ortiz-Figueroa, 2017. Wind forcing of sea level variability in a tropical coral reef area in the western Gulf of Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(4):797-806.
- Villegas-Sánchez, C., H. Pérez-España, R. Rivera-Madrid, D. Salas-Monreal & J.E. Arias-González, 2013. Subtle fenetic connectivity between Mexican Caribbean and southwestern Gulf of Mexico reefs: the case of the bicolor damselfish, *Stegastes partitus*. *Coral Reefs*. <http://dx.doi.org/10.1007/s00338-013-1083-4>.



Solis-Marín, F., B. Esteban-Vázquez y A. Laguarda-Figueras, 2019. Estrellas de Mar (Echinodermata: Asteroidea) de Veracruz, p. 75-98. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Estrellas de Mar (Echinodermata: Asteroidea) de Veracruz

Francisco A. Solís-Marín<sup>1\*</sup>, Brenda Esteban-Vázquez<sup>2</sup>  
y Alfredo Laguarda-Figueras<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colección Nacional de Equinodermos “Dra. Ma. Elena Caso Muñoz”, ICML-UNAM

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias, UNAM.

\*fasolis@cmar1.unam

## RESUMEN

El estado de Veracruz tiene una extensión de litoral de 750 km, y presenta tres grandes sistemas arrecifales: Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan y Sistema Arrecifal Los Tuxtlas. El objetivo de este estudio es presentar el elenco taxonómico de las estrellas de mar (Echinodermata: Asteroidea) habitantes de las aguas someras y profundas del estado, e incluir la información taxonómica de las especies asociadas a dichos arrecifes. Se examinaron 843 ejemplares depositados en la Colección Nacional de Equinodermos “Dra. Ma. Elena Caso Muñoz”, ICML, UNAM, y en el *National Museum Natural History, Smithsonian Institution, Washington* D.C., EUA, correspondientes a 37 especies, dos subgéneros, 28 géneros, 16 familias y siete órdenes, cuya distribución batimétrica va de 1 a 2 432 m. Trece especies de asteroideos están asociadas a arrecifes. Las siguientes especies no cuentan con especímenes que validen su registro para el estado de Veracruz: *Luidia (Luidia) heterozona* Fisher, 1940; *Luidia (Luidia) sarsi* Düben y Koren, 1845; *Astropecten alligator* Perrier, 1881; *Astropecten cingulatus* Sladen, 1883; *Astropecten comptus* Verrill, 1915; *Persephonaster patagiatus* (Sladen, 1889); *Cheiraster (Christopheraster) ludwigi* Fisher, 1913 y *Apollonaster yucatanensis* Halpern, 1970. Se presenta a *Plutonaster bifrons* (Wyville Thomson, 1873) como nuevo registro para el estado. La distribución batimétrica de *Dytaster insignis* (Perrier, 1884) se amplía en su límite inferior a 777 m.

**Palabras clave:** asteroidea, Veracruz, arrecifes.

## ABSTRACT

Veracruz state has a coastal extension of 750 km and three reef systems: Veracruz Reef System National Park, Lobos-Tuxpan Reef System and Tuxtlas Reef System. The aim of the present work is to present a checklist of sea stars (Echinodermata: Asteroidea) from shallow and deep waters of Veracruz state, as well as to include the taxonomic information of the species associated to reefs. We examined 843 specimens deposited on National Collection of Echinoderms "Dra. Ma. Elena Caso Muñoz", ICML, UNAM, and National Museum Natural History, Smithsonian Institution, Washington D.C., USA, belonging to 37 species, 2 subgenus, 28 genus, 16 families and 7 orders. Their bathymetric distribution is from 1 through 2,432 m. Thirteen species are associated to reefs. No specimens were found to validate the records of *Luidia* (*Luidia*) *heterozona* Fisher, 1940; *Luidia* (*Luidia*) *sarsi* Düben y Koren, 1845; *Astropecten alligator* Perrier, 1881; *Astropecten cingulatus* Sladen, 1883; *Astropecten comptus* Verrill, 1915; *Persephonaster patagiatus* (Sladen, 1889); *Cheiraster* (*Christopheraster*) *ludwigi* Fisher, 1913 and *Apollonaster yucatanensis* Halpern, 1970. *Plutonaster bifrons* (Wyville Thomson, 1873) is presented as new record to Veracruz state. The bathymetric range of *Dytaster insignis* (Perrier, 1884) is expand in their lower limit to 777 m.

**Keywords:** Asteroidea, Veracruz, reefs.

## INTRODUCCIÓN

Los equinodermos son invertebrados bentónicos que habitan desde la zona intermareal hasta la abisal, así como en todas las latitudes del planeta, y están representados por aproximadamente 7 550 especies a nivel mundial; particularmente, la clase Asteroidea cuenta con aproximadamente 1,900 especies (Mah y Blake, 2012; Zhang, 2013; Solís-Marín et al., 2014). En México, la biodiversidad de asteroideos está conformada por 227 especies, lo cual representa el 11.9 % de la biodiversidad total del mundo (Solís-Marín et al., 2017). Las estrellas de mar son componentes importantes de las comunidades bentónicas. La digestión intraoral y extraoral que presentan les permite consumir una gran variedad de presas como esponjas, anémonas, crustáceos, bivalvos, poliquetos, briozoos, ascidias e incluso otros equinodermos, por lo que pueden ser generalistas, carroñeras, suspensívoras, coralívoras o caníbales (Benavides-Serrato et al., 2011; Baeta y Ramón, 2013). Las diversas

adaptaciones que presentan les proporciona la capacidad de ocupar diversos ambientes, ya sean de sedimento arenoso, lodoso o rocoso (Benavides-Serrato et al., 2011).

En el caso de los arrecifes de coral, pastos marinos y manglares, las estrellas de mar regulan su abundancia a través de la depredación, así como también modifican el sustrato de estos hábitats. Por ejemplo, *Oreaster reticulatus* participa en la bioturbación de fondos arenosos, y *Acanthaster planci* ha causado la pérdida de aproximadamente el 80 % de los corales del Indo-Pacífico durante los últimos años, aumentando la superficie de cobertura algal (Hendler et al., 1995; Baird et al., 2013). También son fuente de alimento de crustáceos y peces, como es el caso del pez piedra *Graus nigra* que se alimenta de *Heliaster heliantus* (Barrios et al., 2008).

El primer equinodermo registrado para el estado de Veracruz fue *Mellita hexapora* (Gmelin, 1791) (= *Leodia sexiesperfora*

*ta* [Leske, 1778]) presentado por Valentin (1841). Durante el mismo siglo, expediciones a bordo de los buques oceanográficos *Albatross* y *Blake* impulsaron el estudio de los equinodermos en las aguas del estado. Rathbun (1885), Agassiz (1878) y Perrier (1881) fueron los investigadores que escribieron los reportes sobre la fauna de equinodermos de las áreas exploradas.

Los trabajos de Ives (1890) y Caso (1961) destacan por ser los primeros en presentar asteroideos de aguas someras de Veracruz. Downey (1972) describió la especie *Midgardia xandaros* a partir de organismos recolectados en las aguas profundas del estado. Por su parte, Moore (1958), Chávez *et al.* (1970), Gamboa (1978) y Henkel (1982) centraron sus estudios en la boca de los ríos Pantepec, Cazonas y Tecolutla, y en los arrecifes Blanquilla, Isla Lobos, Tuxpan e Isla de Enmedio. Gutiérrez *et al.* (1993) compararon la fauna de equinodermos presente en los arrecifes de Veracruz con la de los arrecifes de Quintana Roo. Durán-González *et al.* (2005) presentaron un listado taxonómico actualizado de los equinodermos reportados para el golfo de México, basándose en ejemplares depositados en la Colección Nacional de Equinodermos "Ma. Elena Caso Muñoz", ICML, UNAM y del *National Museum of Natural History, Smithsonian Institution*, Washington DC, EUA, los autores reportan 35 especies, de las cuales, 8 correspondieron a nuevos registros. Solís-Marín *et al.* (2007), reportaron seis especies de asteroideos para el Parque Nacional del Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), presentando a *Asterinides folium* (Lütken, 1859) como nuevo registro para el PNSAV; mientras que Martín-Cao-Romero (2012) agregó dos nuevos registros para el estado.

Recientemente, la fauna de equinodermos de los tres grandes sistemas arrecifales del estado ha sido estudiada por Villanueva (2008), Cárdenas (2010), De la Cruz (2013), Escárcega-Quiroga (2014), Vassallo *et al.* (2014), González-Gándara *et al.* (2015), Morales-Quijano (2015), Rubí-Espinosa (2017) y De la Cruz *et al.* (2017) han contribuido con el aumento de registros de especies de asteroideos para el estado. Finalmente, López-Chávez (2017) realizó un inventario de las especies de equinodermos del arrecife Perla del Golfo, y comparó la riqueza específica de equinodermos con la de otros arrecifes del golfo de México, y De los Palos (2017) realizó una revisión taxonómica de la familia Benthopectinidae para el golfo de México.

Este estudio tiene como objetivo presentar el elenco taxonómico de las estrellas de mar (Echinodermata: Asteroidea) que habitan las aguas someras y profundas del estado de Veracruz. Además de incluir información referente a la descripción taxonómica, distribución geográfica y batimétrica, y aspectos ecológicos de las especies asociadas a los arrecifes del estado.

El estado de Veracruz representa el 3.7 % del territorio del país; específicamente, su litoral tiene una extensión de 750 km, lo cual equivale al 30 % del litoral costero mexicano (Arenas *et al.*, 2010; Soto y Geissert, 2007). La plataforma continental del estado es angosta respecto al resto de la plataforma del golfo de México, teniendo su parte más ancha en la región de Tuxpan y Coatzacoalcos, y la más estrecha frente al puerto de Veracruz y Los Tuxtlas (De la Lanza, 1991; Arenas *et al.*, 2010).

Los sistemas arrecifales presentes son: Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y Arrecifes de Los Tuxtlas (AT). El PNSAV fue decretado como Parque Nacional en 7 de junio de 1994, y el SALT en junio de 2009 fue declarado Área Natural Protegida con la categoría de área protegida de flora y fauna (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

La importante extensión de territorio marino que posee el estado de Veracruz representa una zona con gran variedad de hábitats para México. A pesar de que el PNSAV y los arrecifes del norte del estado fueron declarados áreas protegidas, los estudios taxonómicos

realizados no han sido suficientes para presentar la biodiversidad que habita en el estado (González-Gándara *et al.*, 2015). Desde el 2007, no se ha hecho un listado taxonómico de las especies de asteroideos presentes en aguas someras y profundas de Veracruz. Además, se carece de la información taxonómica de las especies habitantes de las zonas arrecifales; esta información es fundamental para la realización de estudios biogeográficos, filogeográficos y ecológicos, que promuevan el establecimiento de áreas protegidas y de conservación, y la regulación de su aprovechamiento como recursos marinos.

## MÉTODOS

Para la realización del listado taxonómico, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica previa y se consultaron las bases de datos de la Colección Nacional de Equinodermos “Dra. Ma. Elena Caso Muñoz” ICML, UNAM y del *National Museum of Natural History, Smithsonian Institution*, Washington, DC, EUA, con el fin de obtener el listado preliminar de especies para el estado. Además, se revisó literatura especializada para obtener la información correspondiente a los nombres válidos actuales, distribución geográfica y batimétrica de las especies asociadas a arrecifes.

Posteriormente, se examinaron ejemplares preservados en seco y alcohol etílico (70 %) depositados en dichas colecciones. La corroboración de la identidad taxonómica de los ejemplares se realizó con las siguientes claves y descripciones: Perrier (1875), Sladen (1891),

Verrill (1899; 1915), Caso (1961), Ummels (1963), Halpern (1970), Downey (1973), A.M. Clark y Downey (1992), O’Loughlin y Waters (2004), Solís-Marín *et al.* (2007), Benavides-Serrato *et al.* (2011) y Lawrence *et al.* (2018).

El listado taxonómico sigue la clasificación propuesta por A. M. Clark y Downey (1992) y Mah y Foltz (2011), así como los cambios nomenclaturales revisados en Halpern (1970), A. M. Clark (1989, 1993, 1996), A. M. Clark y Mah (2001) y Mah (2018).

En la parte de descripción de las especies, las abreviaciones R ó “radio mayor”, y r ó “radio menor” se refieren a las medidas del centro del disco hasta la punta del brazo más largo y del centro del disco hasta un interrradio, respectivamente.

## RESULTADOS

Se examinó un total de 849 ejemplares correspondientes a siete órdenes, 16 familias, 28 géneros, dos subgéneros y 37 especies, con una distribución batimétrica de 1 a 2 432 m.

### PHYLUM ECHINODERMATA

#### Bruguère, 1791

#### CLASE ASTEROIDEA De Blainville, 1830

**Orden** Paxillosida Perrier, 1884

**Familia** Luidiidae Sladen, 1889

*Luidia alternata alternata* (Say, 1825)

*Luidia clathrata* (Say, 1825)

*Luidia lawrencei* Hopkins y Knott, 2010

*Luidia sarsii elegans* Perrier, 1875

**Familia** Astropectinidae Gray, 1840

*Astropecten americanus* Verrill, 1880

*Astropecten articulatus* (Say, 1825)

*Astropecten* cf. *cingulatus* Sladen, 1883

*Astropecten duplicatus* Gray, 1840

*Astropecten karankawai* Lawrence *et al.*, 2018

*Dytaster insignis* (Perrier, 1884)

*Persephonaster echinulatus* H. L. Clark, 1941

*Plutonaster bifrons* (Wyville Thomson, 1873)

*Psilaster cassiope* Sladen, 1889

*Tethyaster grandis* (Verrill, 1899)

**Familia** Gonioplectinidae Verrill, 1889

*Goniopecten demonstrans* Perrier, 1881

**Familia** Pseudarchasteridae Sladen, 1889

*Pseudarchaster gracilis gracilis* (Sladen, 1889)

**Orden** Notomyotida Ludwig, 1910

**Familia** Benthoplectinidae Verrill, 1894

*Benthopecten simplex simplex* (Perrier, 1881)

*Cheiraster* (*Cheiraster*) *planus* Verrill, 1915

**Orden** Valvatida Perrier, 1884

**Familia** Odontasteridae Verrill, 1914

*Odontaster* cf. *setosus* Verrill, 1899

**Familia** Asterinidae Gray, 1840

*Asterinides folium* (Lütken, 1860)

**Familia** Goniasteridae Forbes, 1841

*Anthenoides piercei* Perrier, 1881

*Circeaster americanus* (A. H. Clark, 1916)

*Goniaster tessellatus* (Lamarck, 1816)

*Nymphaster arenatus* (Perrier, 1881)

*Plinthaster dentatus* (Perrier, 1884)

**Familia** Ophidiasteridae Verrill, 1870

*Linckia guildingii* Gray, 1840

*Linckia nodosa* Perrier, 1875

*Ophidiaster guildingii* Gray, 1840

**Familia** Asteropseidae Hotchkiss y A. M. Clark, 1976

*Poraniella echinulata* (Perrier, 1881)

**Familia** Oreasteridae Fisher, 1911

*Oreaster reticulatus* (Linnaeus, 1758)

**Orden** Velatida Perrier, 1884

**Familia** Pterasteridae Perrier, 1875

*Pteraster personatus* Sladen, 1891

**Orden** Spinulosida Perrier, 1884

**Familia** Echinasteridae Verrill, 1870

**Subgénero** *Othilia* Gray, 1840

*Echinaster* (*Othilia*) sp.

**Orden** Forcipulatida Perrier, 1884

**Familia** Zoroasteridae Sladen, 1889

*Doraster constellatus* Downey, 1970

*Zoroaster fulgens* Wyville Thomson, 1873

**Familia** Asteriidae Gray, 1840

*Coscinasterias tenuispina* (Lamarck, 1816)

**Orden** Brisingida Fisher, 1928

**Familia** Brisingidae G. O. Sars, 1875

*Midgardia xandaros* Downey, 1972

## SISTEMÁTICA

**Orden Paxillosida** Perrier, 1884

**Familia Luidiidae** Sladen, 1889

**Género *Luidia*** Forbes, 1839

***Luidia alternata alternata*** (Say, 1825)  
(Lámina 1, figura A)

**Descripción:** Organismos con  $R= 63.24-112.33$  mm,  $r= 10.06-14.47$  mm y  $R/r= 5.6-9.2$ . Disco pequeño y cinco brazos largos, planos y de punta redonda. Paxilas redondas a ovaladas y separadas entre sí. Las espineletas paxilares periféricas son largas, bastante delgadas y romas, y las centrales son más cortas, gruesas y romas. Hasta cuatro filas laterales, longitudinales y regulares de grandes paxilas, las cuales coinciden con las pequeñas paxilas superomarginales. Una espina larga, gruesa, cónica y roma, está presente en algunas paxilas del disco y en la mayoría de las paxilas laterales. Espinas ambulacrales en fila transversal; la espina interna tiene forma de sable y es roma; la segunda espina es la más larga, subcónica y roma; la tercera espina es más corta; una cuarta espina ocasionalmente está presente. Pedicelarios tri o tetra valvados cuyas valvas se unen en la punta; ocasionalmente están presentes en las paxilas superomarginales.

**Reportes previos en el estado:** Antón Lizardo (Gamboa, 1978; Durán-González *et al.*, 2005; Martín-Cao-Romero, 2012).

**Distribución geográfica:** Desde Carolina del Norte hasta el norte de Argentina (A. M. Clark y Downey, 1992).

**Distribución batimétrica:** De 1 a 200 m (A. M. Clark y Downey, 1992).

**Material examinado:** Diez ejemplares. ICML-UNAM 2.20.1 Antón Lizardo; ICML-UNAM 2.20.16, frente Coatzacoalcos; ICML-

UNAM 2.20.18, frente a Alvarado; ICML-UNAM 2.22.47, Barra Cazonés.

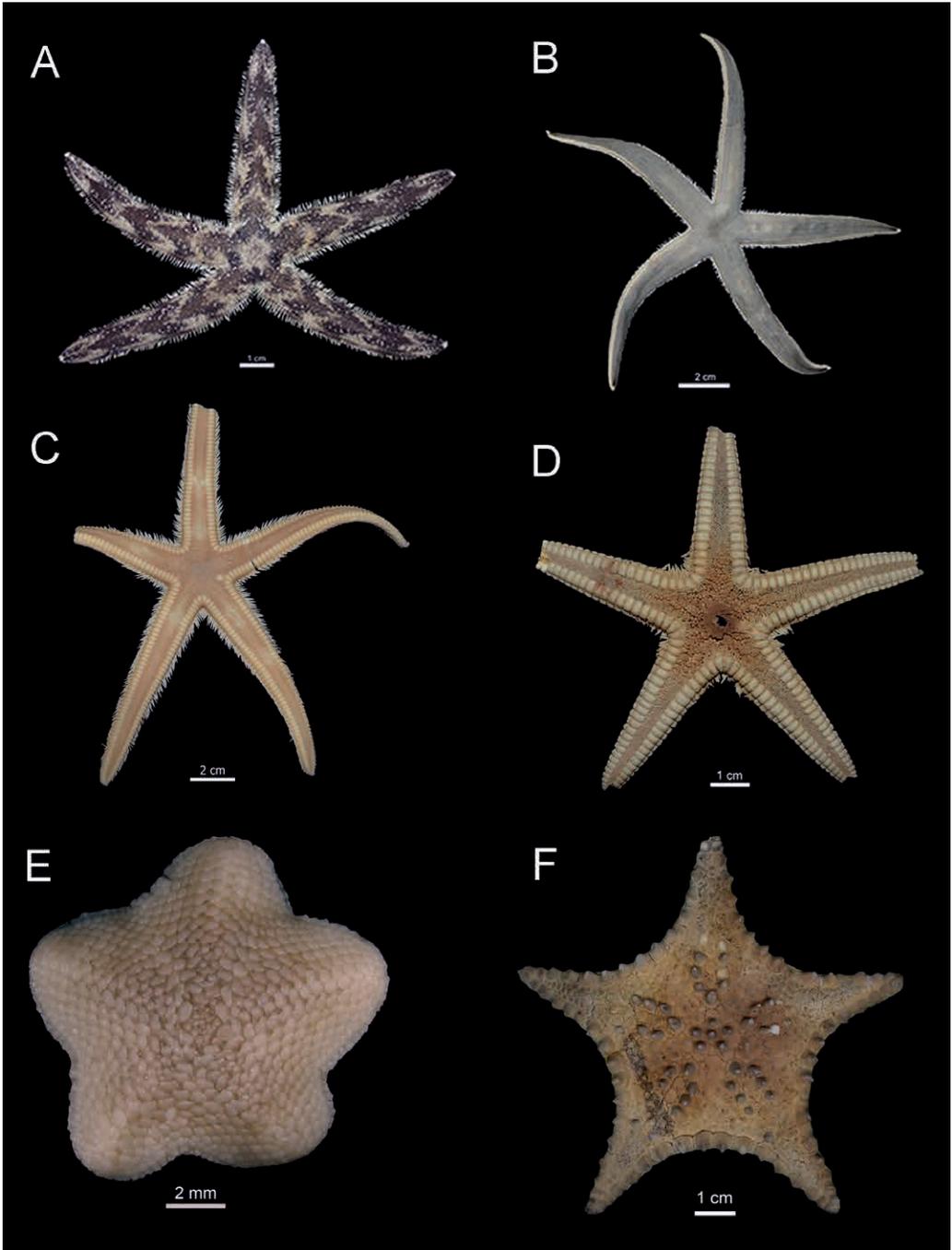
**Color en vivo:** Superficie abactinal blanca o crema, y presenta bandas de color verde oscuro, morado, café o negro. La superficie actinal es amarilla y los pies ambulacrales naranja brillante (Hendler *et al.*, 1995).

***Luidia clathrata*** (Say, 1825)  
(Lámina 1, figura B)

**Descripción:** Organismos con  $R= 44.3-125.7$  mm,  $r= 9.9-16$  mm y  $R/r= 4.13-7.82$ . Disco pequeño y cinco brazos largos, planos y de punta redonda. Paxilas redondas a poligonales con bordes curvos, y no tienen un arreglo regular. Espineletas paxilares periféricas delgadas, pequeñas y espinosas; las espineletas centrales son granuliformes, gruesas y redondas. Ninguna paxila presenta espineletas prominentes. Las pequeñas paxilas de los brazos no forman filas regulares. Hasta tres filas laterales de paxilas grandes, rectangulares y con bordes curvos. Las paxilas superomarginales son casi el doble de tamaño que las laterales. Placas inferomarginales cubiertas por espinas escuamiformes, anchas, planas y redondas. Espinas ambulacrales en fila transversal: la espina interna es larga, roma y tiene forma de sable; la segunda espina es más larga, delgada, aplanada lateralmente y roma; detrás hay dos espinas largas, planas y truncadas o romas.

**Reportes previos en el estado:** “Veracruz” (como *Luidia (Luidia) clathrata* [Say, 1825]) (Gamboa, 1978; Durán-González *et al.*, 2005).

**Distribución geográfica:** Desde la costa suroeste de Estados Unidos (Virginia, Texas, Flo-



**Lamina 1.** A. *Luidia alternata alternata* (Say, 1825) (ICML-UNAM 2.20.1). B. *Luidia clathrata* (Say, 1825) (ICML-UNAM 2.22.47). C. *Astropecten articulatus* (Say, 1825) (ICML-UNAM 2.3.70). D. *Astropecten duplicatus* Gray, 1840 (ICML-UNAM 2.3.2). E. *Asterinides folium* (Lütken, 1860) (ICML-UNAM 2.116.0). F. *Goniaster tessellatus* (Lamarck, 1816) (ICML-UNAM 2.111.14).

rida), golfo de México, Caribe y hasta el sur de Brasil (Lawrence *et al.*, 2013).

**Distribución batimétrica:** De 0.5 a 164 m (Lawrence *et al.*, 2013).

**Material examinado:** 17 ejemplares. ICML-UNAM 2.22.31, frente a Nautla; ICML-UNAM 2.22.47, Barra de Cazones.

**Color en vivo:** Azul grisáceo en la superficie abactinal, con bandas midradiales ligeramente más oscuras (Lawrence *et al.*, 2013).

## Familia Astropsectinidae Gray, 1840

### Género *Astropecten* Gray, 1840

*Astropecten articulatus* (Say, 1825)  
(Lámina 1, figura C)

**Descripción:** Organismos con R= 35.34-103.67 mm, r= 9.94-14.23 mm y R/r= 3.5-7.2. Disco pequeño y cinco brazos largos, delgados, planos y romos. Paxilas poligonales e irregulares. Las espineletas paxilares periféricas son largas, gruesas, ligeramente curvadas y romas, y las espineletas centrales son granuliformes, gruesas y romas. Tres espinas inferomarginales largas, delgadas, planas y agudas. Placas inferomarginales cubiertas con escuámulos elongados, planos y romos. Tres espinas ambulacrales largas, delgadas y romas; la espina media es la más larga. Dos espinas subambulacrales más largas que las ambulacrales, delgadas, planas y truncadas; detrás, hay otras dos espinas subambulacrales similares, aunque más cortas, y hasta cinco espinas pequeñas, planas y romas. Carece de pedicelarios.

**Reportes previos en el estado:** Montepío (Vassallo *et al.*, 2014).

**Distribución geográfica:** Belice, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia, Venezuela, Brasil, Cuba, Re-

pública Dominicana, Puerto Rico (Alvarado *et al.*, 2013).

**Distribución batimétrica:** De 0 a 256 m (Alvarado *et al.*, 2013).

**Material examinado:** Dos ejemplares. ICML-UNAM 2.19.35, frente a Alvarado (Río Papaloapan); ICML-UNAM 2.3.70, Bajos de Tuxpan.

**Color en vivo:** Abactinalmente azul oscuro o morado, con placas superomarginales naranja. Actualmente es color blanco o beige (Hendler *et al.*, 1995).

*Astropecten duplicatus* Gray, 1840  
(Lámina 1, figura D)

**Descripción:** Organismos con R= 52-48-77.91 mm, r= 11.75-15.72 mm y R/r= 4.2-4.95. Disco pequeño y cinco brazos largos, delgados y de punta roma. Paxilas capitadas con espineletas periféricas con forma de barra, delgadas y romas, y espineletas centrales más cortas y romas; algunas paxilas presentan una espina central subcónica, roma y prominente. Sobre los brazos, el área paxilar es poco amplia, y las filas paxilares longitudinales no son regulares. Las placas superomarginales poseen inserciones internas y externas de espinas superomarginales, e invaden moderadamente la superficie abactinal. Tres espinas inferomarginales moderadamente largas, planas y estrechas. La superficie de cada placa inferomarginal está parcialmente desnuda, aunque presenta inserciones de espinas y escuámulos; cuando están presentes las espinas son elongadas, agudas y planas, y los escuámulos son planos y romos. Tres espinas ambulacrales largas, delgadas, planas y romas; la espina media es la más larga y está aplanada lateralmente. La primera fila subambulacral consta de dos es-

pinas; la proximal es corta, larga, plana y truncada, y la distal es más larga, plana, y de punta estrecha. Detrás de la primera fila subambulacral, hay hasta cuatro pequeñas espinas planas y espatuladas, cuya disposición es irregular.

**Reportes previos en el estado:** Isla Lobos (Perrier, 1875; Ives, 1890; Caso, 1961; Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; Gamboa, 1978; Martín-Cao-Romero, 2012; Escárcega-Quiroga, 2014).

**Distribución geográfica:** Desde Carolina del Norte hasta el norte de Brasil (A. M. Clark y Downey, 1992).

**Distribución batimétrica:** De 0 a 550 m (A. M. Clark y Downey, 1992).

**Material examinado:** Tres ejemplares. ICML-UNAM 2.3.2, Veracruz; ICML-UNAM 18252, Veracruz.

**Color en vivo:** Superficie abactinal gris o ligeramente café. Placas superomarginales moteadas con rosa claro a café rojizo oscuro. Las espinas superomarginales e inferomarginales a menudo son blancas y presentan una banda naranja en su base. La superficie actinal es blanca a bronceada. Los pies ambulacrales son naranja claro (Hendler *et al.*, 1995).

**Orden Valvatida** Perrier, 1884

**Familia Asterinidae** Gray, 1840

**Género Asterinides** Verrill, 1913

*Asterinides folium* (Lütken, 1860)

(Lámina 1, figura E)

**Descripción:** Dos ejemplares pequeños con  $R= 6.1-8$  mm,  $r= 4.7-5.5$  mm y  $R/r= 1.31-1.45$ . Cuerpo casi pentagonal, con cinco brazos cortos, anchos y de punta redonda. El disco está delimitado por cinco placas radiales y cinco placas interradales grandes; las placas radiales poseen una muesca superior, están imbricadas y cubiertas con pequeños gránulos

hialinos; las placas interradales son romboideas, imbricadas y poseen un mechón superior de hasta 14 espineletas delgadas, cristalinas y agudas. Placas superomarginales pequeñas y con un mechón central de hasta siete espineletas similares a las abactinales. Las placas inferomarginales forman el margen del cuerpo y son ovaladas, elongadas y ligeramente imbricadas; poseen hasta 15 espineletas largas, gruesas, cristalinas, aciculadas. Hasta cuatro espinas actinales gruesas, agudas, cristalinas, divergentes y palmeadas. De tres a cuatro espinas ambulacrales gruesas, palmeadas y se estrechan a una punta aguda. Hasta seis espinas orales largas, delgadas, agudas y palmeadas.

**Reportes previos para el estado:** Veracruz (como *Asterina folium* [Lütken, 1859]), Isla de Enmedio y Montepío (Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; Martín-Cao-Romero, 2012; Vassallo *et al.*, 2014; Escárcega-Quiroga, 2014).

**Distribución geográfica:** Desde Florida, Bermudas, golfo de México, Belice, Panamá hasta Brasil (A. M. Clark y Downey, 1992).

**Distribución batimétrica:** De 0 a 256 m (Alvarado *et al.*, 2013).

**Material examinado:** Dos ejemplares. ICML-UNAM 2.116.0, Isla de Enmedio.

**Color en vivo:** La superficie abactinal varía de ser color blanco, amarillo o rojo amarillento, azul a azul-verde (Hendler *et al.*, 1995).

**Familia Goniasteridae** Forbes, 1841

**Género Goniaster** L. Agassiz, 1836

*Goniaster tessellatus* (Lamarck, 1816)

(Lámina 1, figura F)

**Descripción:** Un ejemplar con  $R= 53.26$  mm,  $r= 28$  mm y  $R/r= 1.9$ . Cuerpo estelado con un disco grande y cinco brazos moderadamente largos. Placas abactinales poligonales,

rodeadas por pequeños gránulos cuadrados e irregulares, y cubiertas por gránulos más pequeños. La placa abactinal central y la primera placa de cada fila carinal presentan una espina larga, robusta, cónica y aguda, formando un pentágono central. Sobre los brazos, hay dos filas adradiales con hasta seis espinas similares. Placas superomarginales con una protuberancia central. La granulación de las placas inferomarginales es más gruesa que la abactinal. Placas actinales poligonales. De cuatro a cinco espinas ambulacrales largas, delgadas, romas y bastante comprimidas. Dos espinas subambulacrales largas, gruesas, redondas y comprimidas; detrás hay tres espinas más cortas. Pedicelarios excavados presentes en las placas abactinales, superomarginales, inferomarginales y actinales; en las placas adambulacrales son más grandes.

**Reportes previos en el estado:** sur de Tuxpan (Durán-González *et al.*, 2005; Martín-Cao-Romero, 2012).

**Distribución geográfica:** Desde Carolina del Norte al norte de Brasil. De Marruecos a Gabón, incluyendo a las islas de Cabo Verde (A. M. Clark y Downey, 1992).

**Distribución batimétrica:** De 16 a 155 m (Alvarado *et al.*, 2013).

**Material examinado:** Un ejemplar. ICML-UNAM 2.111.14, Sur de Tuxpan.

**Color en vivo:** Superficie abactinal rojiza a café (A. M. Clark y Downey, 1992).

**Familia** Ophidiasteridae Verrill, 1870

**Género** *Linckia* Nardo, 1834

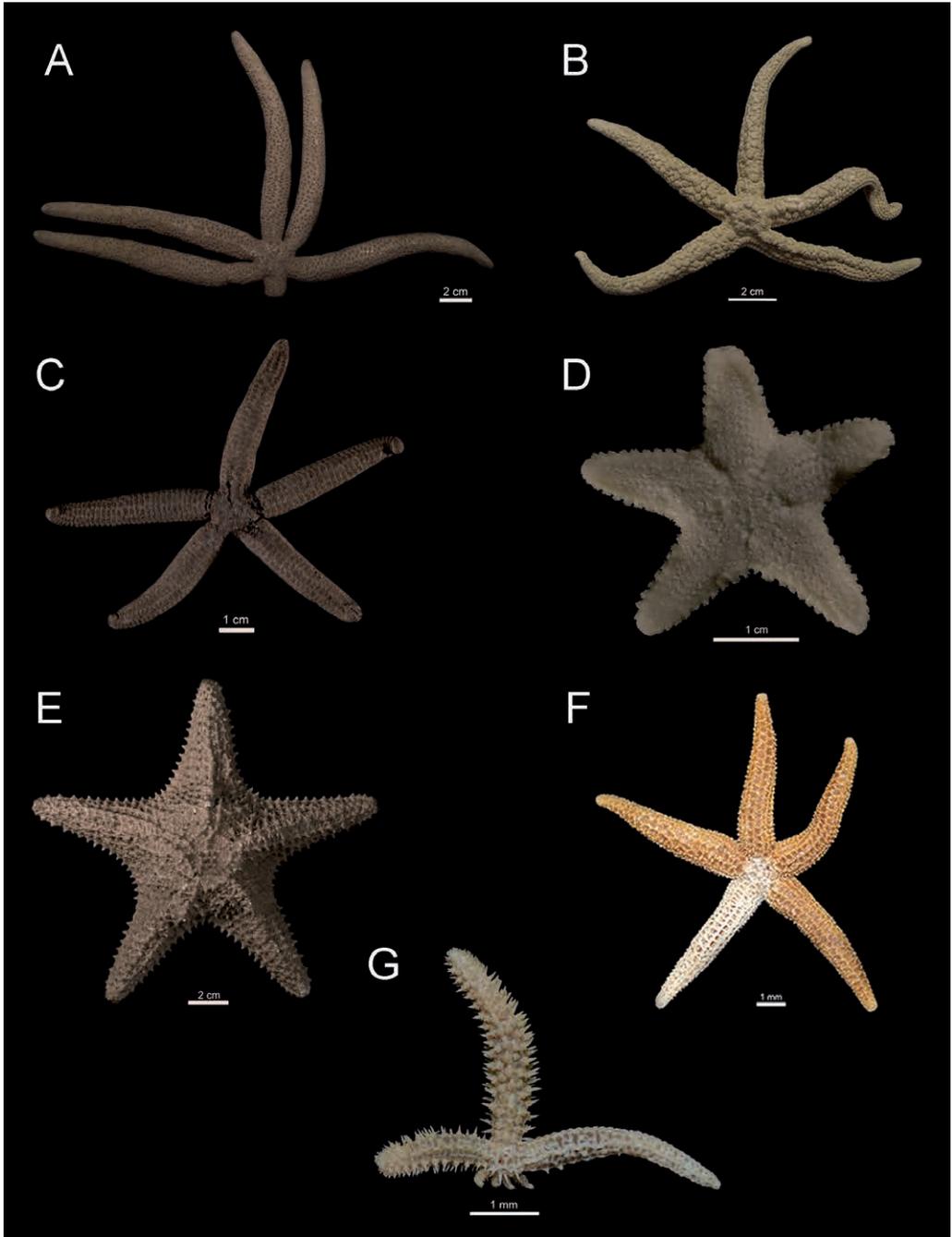
*Linckia guildingii* Gray, 1840  
(Lámina 2, figura A)

**Descripción:** Organismos con R= 15.3-126.1 mm, r= 2.42-17.29 mm y R/r= 2.6-13.4. Disco pequeño y de cinco a seis brazos

largos y cilíndricos. Placas abactinales ovaladas, convexas y ligeramente imbricadas; están cubiertas por gránulos pequeños y poligonales; sobre los brazos forman filas longitudinales e irregulares. Áreas papulares en filas longitudinales (hasta 64 poros); están ausentes actinalmente. Usualmente dos madreporitas pequeñas. Placas superomarginales pequeñas, inconspicuas y poco imbricadas. La cobertura granular inferomarginal es más gruesa que la abactinal; sobre las placas actinales, los gránulos aumentan de tamaño hacia las placas adambulacrales. Dos espinas ambulacrales planas, romas y frecuentemente subiguales; la espina proximal es gruesa y la distal es delgada. La primera fila subambulacral consta de una espina grande, robusta y roma; ocasionalmente hay una pequeña espina a lado. La segunda fila subambulacral tiene una espina grande, subcónica, robusta y una espina lateral más pequeña. De tres a seis espinas orales largas, delgadas, romas y planas.

**Reportes previos en el estado:** Punta de Hornos, isla Verde, isla de Enmedio, Isla Sacrificio, Antón Lizardo, Arrecife Blanquilla, Arrecife de Tuxpan, Arrecife de Lobos, Perla del Golfo, Zapotitlán y Palo Seco (Moore, 1958; Caso, 1961; Chávez *et al.*, 1970; Gamboa, 1978; Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; Villanueva, 2008; Cárdenas, 2010; Martín-Cao-Romero, 2012; De la Cruz, 2013; Escárcega-Quiroga, 2014; Morales-Quijano, 2015; López-Chávez, 2017).

**Distribución geográfica:** Indo-Pacífico, costa este de México, Bermudas, Caribe hasta el sur de Brasil, isla Ascensión, islas de Cabo Verde. Se considera como una especie tropicopolita (Clark y Downey, 1992; Benavides-Serrato *et al.*, 2011).



**Lámina 2.** A. *Linckia guildingii* Gray, 1840 (ICML-UNAM 2.12.29). B. *Linckia nodosa* Perrier, 1875 (ICML-UNAM 2.16.0). C. *Ophidiaster guildingii* Gray, 1840 (ICML-UNAM 2.93.6). D. *Poraniella echinulata* (Perrier, 1881) (ICML-UNAM 10163). E. *Oreaster reticulatus* (Linnaeus, 1758) (ICML-UNAM 2.34.1). F. *Echinaster (Othilia)* sp. (ICML-UNAM 2.49.86). G. *Coscinasterias tenuispina* (Lamarck, 1816) (ICML-UNAM 2.14.3).

**Distribución batimétrica:** De 0 a 298 m (Alvarado *et al.*, 2013).

**Material examinado:** 101 ejemplares. ICML-UNAM 2.12.0, isla Lobos; ICML-UNAM 2.12.1, isla Sacrificios; ICML-UNAM 2.12.2, isla Verde; ICML-UNAM 2.12.3, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.12.4, Veracruz; ICML-UNAM 2.12.5, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.12.6, isla de Sacrificios; ICML-UNAM 2.12.7, Arrecife Blanquilla; ICML-UNAM 2.12.8, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.12.9, Punta de Hornos; ICML-UNAM 2.12.10, isla Verde; ICML-UNAM 2.12.15, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.12.18, Tuxpan; ICML-UNAM 2.12.19, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.12.20, Tuxpan; ICML-UNAM 2.12.21, isla Blanquilla; ICML-UNAM 2.12.23, isla Verde; ICML-UNAM 2.12.24, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.12.25, isla Verde; ICML-UNAM 2.12.26, isla Lobos; ICML-UNAM 2.12.27, Isla Verde; ICML-UNAM 2.12.28, isla Lobos; ICML-UNAM 2.12.29, isla Lobos; ICML-UNAM 2.12.35, isla Sacrificios; ICML-UNAM 2.12.36, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.12.37, Isla Sacrificios; ICML-UNAM 2.12.40, Bajos de Tuxpan; ICML-UNAM 2.12.41, La Escuelita de isla Lobos; ICML-UNAM 2.12.42, isla Lobos; ICML-UNAM 2.12.43, Torres de isla Lobos; ICML-UNAM 2.12.44, isla Lobos; ICML-UNAM 10979, isla de Enmedio; ICML-UNAM 11445, isla de Enmedio; ICML-UNAM 11456, isla Lobos; ICML-UNAM 11460, isla Lobos; ICML-UNAM 11465, Veracruz; ICML-UNAM 11469, isla Lobos; ICML-UNAM 11474, isla Lobos; USNM E 37407, isla de Sacrificios.

**Color en vivo:** Organismos de color rojizo, morado, amarillo claro o gris moteado, y usualmente jaspeado con tonos más oscuros (Hendler *et al.*, 1925).

***Linckia nodosa*** Perrier, 1875  
(Lámina 2, figura B)

**Descripción:** Un ejemplar con  $R = 84$  mm,  $r = 11.9$  mm y  $R/r = 7$ . Disco pequeño y cinco brazos bastante largos, delgados y de punta redonda; están aplanados actinalmente. Placas abactinales ovaladas o circulares dispuestas en cuatro o cinco filas longitudinales e irregulares; están cubiertas por gránulos pequeños e irregulares. Áreas papulares con hasta 21 poros y ausentes actinalmente. La granulación inferomarginal es más robusta que la abactinal. Placas actinales cubiertas por gránulos ovalados o subcónicos y más gruesos que los abactinales. Dos espinas ambulacrales; la espina proximal es larga, plana y redonda, y la distal es delgada, pequeña, plana y redonda. Una espina subambulacral redonda y más gruesa que las ambulacrales. Gránulos subambulacrales pequeños e irregulares. Placas orales con cuatro espinas orales similares a las ambulacrales y robustas.

**Reportes previos en el estado:** isla de Enmedio, Arrecife de Lobos, Antón Lizardo (Caso, 1961; Chávez *et al.*, 1970; Durán-González *et al.*, 2005; Martín-Cao-Romero, 2012; Escárcega-Quiroga, 2014).

**Distribución geográfica:** Desde Carolina del Norte al sur de Brasil, Santa Helena y Cuba (A. M. Clark y Downey, 1992; Alvarado *et al.*, 2013).

**Distribución batimétrica:** De 0 a 475 m (Alvarado *et al.*, 2013).

**Material examinado:** Un ejemplar. ICML-UNAM 2.16.0, isla de Enmedio.

**Color en vivo:** Superficie abactinal amarillo claro con espacios papulares naranja rojizo (Ummels, 1963).

**Género *Ophidiaster* L. Agassiz, 1836*****Ophidiaster guildingii* Gray, 1840**  
(Lámina 2, figura C)

**Descripción:** Organismos con R= 21.3-51.8 mm, r= 4-8.1 mm y R/r= 5.3-10. Disco pequeño y cinco brazos moderadamente largos, robustos, cilíndricos y romos. Placas abactinales tetralobuladas arregladas en tres series regulares a lo largo del brazo; cubiertas por gránulos pequeños, ovalados e imbricados, dando una apariencia escumiforme. Ocho series regulares de áreas papulares presentes abactinal y actinalmente (hasta 18 poros). Placas marginales lobuladas e imbricadas; algunas placas distales pueden presentar de uno a dos gránulos centrales y prominentes. Dos espinas ambulacrales planas, romas y parcialmente cubiertas por una membrana; la espina proximal es gruesa y la espina distal es delgada. Una espina subambulacral grande, plana y roma. Cuatro espinas orales moderadamente largas, subiguales, delgadas y romas.

**Reportes previos en el estado:** Isla de Enmedio, isla Sacrificios y Arrecife Oro Verde (Martín-Cao-Romero, 2012; Rubí-Espinos, 2016).

**Distribución geográfica:** Desde Florida hasta Colombia. Cuba, Bermudas, Cabo Verde y golfo de Guinea (A. M. Clark, 1992; Alvarado *et al.*, 2013).

**Distribución batimétrica:** De 0 a 330 m (Alvarado *et al.*, 2013).

**Material examinado:** 15 ejemplares. ICML-UNAM 2.190.3, isla Lobos; ICML-UNAM 2.93.4, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.93.5, isla Verde; ICML-UNAM 2.93.6, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.93.7, isla de Enmedio; ICML-UNAM 2.93.8, La Anegada de Afuera; ICML-UNAM 2.93.9, isla Sacrificios; ICML-

UNAM 12712, Oro Verde; ICML-UNAM 18251, isla Lobos.

**Color en vivo:** Organismos de color amarillo pálido, naranja a café rojizo, y moteados con azul, morado, marrón o café. Inusualmente son rojizos, morados o uniformemente café (Hendler *et al.*, 1995).

**Familia Asteropseidae Hotchkiss y A. M. Clark, 1976****Género *Poraniella* Verrill, 1914*****Poraniella echinulata* (Perrier, 1881)**  
(Lámina 2, figura D)

**Descripción:** Un ejemplar con R= 21.6 mm, r= 9.9 mm y R/r= 2.1. Disco amplio y cinco brazos moderadamente largos. En el disco hay cinco placas radiales basales grandes, prominentes, semitriangulares u ovaladas; están cubiertas por pequeños cuerpos cristalinos y tienen hasta cinco espínulas subcónicas en su borde superior. Las cinco placas interradales basales son poco evidentes y tienen tres espínulas cortas. Placas radiales semipentagonales a ovaladas, ligeramente imbricadas, cubiertas por pequeños cuerpos cristalinos y de tres a cuatro espinas agudas, cortas y dispuestas en forma de peine; ocasionalmente poseen una espina central. La fila carinal de placas radiales es evidente. En el borde superior de las placas interradales hay de tres a cuatro espinas cortas, delgadas y agudas. En la zona interradales la piel es más gruesa y está plegada, por lo que oculta parcialmente a las placas. Áreas papulares en el disco y zonas radiales. Placas superomarginales con hasta cinco espínulas submarginales y agudas. Las placas inferomarginales presentan de cinco a 10 espinas marginales largas, delgadas, acusadas, cristalinas, divergentes y casi totalmente cubiertas

con piel; proximalmente forman un abanico regular. Placas actinales con dos a cuatro espinas largas, delgadas, agudas, divergentes, totalmente cubiertas por piel e inclinadas hacia abajo. Tres espinas ambulacrales delgadas, largas, agudas y cubiertas por piel. De dos a tres espinas subambulacrales en fila transversal; son largas, delgadas, romas y subagudas, cubiertas por piel y más grandes que las ambulacrales. Placas orales anchas y semitriangulares con hasta seis espinas orales largas, delgadas, romas, y cubiertas por piel solo en la parte basal.

**Reportes previos en el estado:** Arrecifes Blanquilla y Palo Seco (Escárcega-Quiroga, 2014; González *et al.*, 2015).

**Distribución geográfica:** Golfo de México, Belice, Costa Rica, Panamá, Bahamas, Islas Barlovento, Cuba y Barbados (A. M. Clark y Downey, 1992; Alvarado *et al.*, 2013).

**Distribución batimétrica:** De 3 a 136 m (Alvarado *et al.*, 2013).

**Material examinado:** Un ejemplar. ICML-UNAM 10163. Palo Seco.

**Color en vivo:** Superficie abactinal naranja a rojo brillante y variegada con blanco. El pentágono central del disco y una franja midradial pueden ser blancos. Las pápulas son naranja claro y las puntas de los brazos están moteadas de blanco con negro (Hendler *et al.*, 1995).

**Familia** Oreasteridae Fisher, 1911

**Género** *Oreaster* Müller y Troschel, 1842

***Oreaster reticulatus*** (Linnaeus, 1758)  
(Lámina 2, figura E)

**Descripción:** Organismos con R= 72.9-115.6 mm, r= 41.7-62.6 mm y R/r= 1.7-2. Disco grande e inflado, y cinco brazos poco

largos, robustos y romos. Superficie abactinal reticulada. Placas abactinales primeras convexas y están cubiertas con gránulos poligonales y pequeños; cada una presenta una espina grande, cónica, gruesa y aguda o roma. En el centro del disco, la placa centrodorsal y cinco o seis placas radiales apicales forman un pentágono o hexágono. La fila carinal es muy evidente. Las placas superomarginales son ovaladas y tumbidas; están cubiertas por gránulos pequeños y poligonales, y tienen una espina grande, cónica y robusta. Las placas inferomarginales presentan hasta cuatro tubérculos o espinas cónicas. De seis a siete espinas ambulacrales pequeñas, delgadas, largas, planas y romas. Una espina subambulacral, raramente dos, bastante prominente, larga, ligeramente plana y roma. Pedicelarios bivalvados presentes entre los gránulos abactinales, intermarginalmente, placas actinales y adambulacrales.

**Reportes previos en el estado:** Isla de Enmedio, Antón Lizardo, isla Sacrificios, isla Lobos (Durán-González *et al.*, 2005; Martín-Cao-Romero, 2012; Escárcega-Quiroga, 2014; González *et al.*, 2015).

**Distribución geográfica:** Desde Carolina del Norte a arrecife Abrolhos, Brasil. Cabo Verde (A. M. Clark, 1992).

**Distribución batimétrica:** De 0 a 1,500 m (Alvarado *et al.*, 2013).

**Material examinado:** Tres ejemplares. ICML-UNAM 2.34.1, isla Sacrificios; ICML-UNAM 2.34.3, Veracruz; ICML-UNAM 2.34.48, Isla de Enmedio-Antón Lizardo.

**Color en vivo:** Individuos juveniles de color verde olivo, y conforme crecen se reemplaza su coloración por amarillo, naranja rojizo o café rojizo. Las espinas son amarillas y brillantes, casi blancas. La superficie ventral tiene

una coloración más clara (Verrill, 1915; H. L. Benavides-Serrato *et al.*, 2011).

### Orden Spinulosida Perrier, 1884

#### Familia Echinasteridae Verrill, 1870

#### Género *Echinaster* Müller y Troschel, 1840

#### Subgénero *Othilia* Gray, 1840

#### *Echinaster (Othilia) sp.*

(Lámina 2, fig. F)

**Descripción:** Organismos con  $R=38.29-62$  mm,  $r=8.65-15.82$  mm y  $R/r=3.7-4.8$ . Disco mediano y cinco brazos moderadamente largos, cilíndricos, anchos y romos. Las placas abactinales son trilobuladas o con forma de "T", cuyos lóbulos son cortos y anchos. Cada placa abactinal tiene un parche central y pequeño de diminutos cuerpos cristalinos, y hasta cuatro espinas cortas con forma de barra cuya punta es ancha o capitada y espiniforme. En el disco, las placas abactinales forman un retículo, aunque no forman un pentágono central. En los brazos, forman cinco filas longitudinales y regulares: carinal, adradial, abradiales y superomarginal. En la fila carinal, las placas abactinales están arregladas en zig-zag. Placas con forma de barra y poco elongadas unen a las placas carinales con las adradiales, y estas con las placas abradiales. Las placas superomarginales son tetralobuladas, imbricadas y poseen un parche cristalino más grande que el resto de las placas. En la punta del brazo, las placas no forman filas regulares y se juntan alrededor de la placa terminal. La placa ocular es pequeña, ovalada y ancha. Placas inferomarginales tetralobuladas, cuyos lóbulos superior e inferior son los más prominentes; están imbricadas y presentan hasta cuatro espinas pequeñas y de punta ligeramente estre-

cha. Cuatro espinas ambulacrales arregladas en fila transversal. La espina ambulacral interna es poco evidente ya que está dirigida al surco; es delgada, ligeramente curva y roma. La segunda espina es larga, plana, roma y con una curva en su borde lateral; está insertada en el lado izquierdo de la espina interna. La tercera espina ambulacral es larga, plana y de punta ancha e irregular; frecuentemente presenta una muesca. La cuarta espina es corta y similar a la anterior. Ambas superficies del cuerpo están cubiertas por una piel gruesa que oculta totalmente las placas e incluso, y cubre algunas de sus espinas.

**Material examinado:** Cuatro ejemplares. ICML-UNAM 2.49.79, Veracruz; ICML-UNAM 2.49.86, Veracruz, a 200 m de Faro Nuevo.

### Orden Forcipulatida Perrier, 1884

#### Familia Asteriidae Gray, 1840

#### Género *Coscinasterias* Verrill, 1870

#### *Coscinasterias tenuispina*

(Lamarck, 1816)

(Lámina 2, figura G)

**Descripción:** Organismos con  $R=15.21-33.29$  mm,  $r=2.93-4.84$  mm y  $R/r=3.52-7.72$ . Disco pequeño y de seis a ocho brazos usualmente largos, delgados y romos (frecuentemente regenerados). Las placas del disco son tetra o pentalobuladas, grandes e irregulares; están conectadas entre sí por placas con forma de barra, aunque pueden tener una forma irregular. De tres a cinco filas de placas abactinales más o menos regulares: carinal, adradial y superomarginal. Las placas de la fila carinal son tetralobuladas, imbricadas e hinchadas en su centro. Placas elongadas, estrechas y planas unen a las filas carinales y adradiales, y a estas placas con las

superomarginales. Áreas papulares con hasta siete poros. En cada placa abactinal hay una espina larga, gruesa, cónica y con una punta delgada y roma; está cubierta por un anillo de pequeños pedicelarios cruzados. Las placas superomarginales son tetralobuladas, cuyo lóbulo abradial está elongado para unirse con las placas inferomarginales; poseen pequeños cuerpos cristalinos, y en su borde superior tienen una espina larga, cónica y roma. Placas inferomarginales trilobuladas y elongadas; poseen dos espinas largas, delgadas, planas y truncadas; la espina superior es la más larga y estrecha. No se observaron placas actinales. Las placas adambulacrales son monacántidas, cuya espina ambulacral es larga, plana y roma. De uno a tres pares de placas adambulacrales interradales son contiguas. Tres espinas orales largas, robustas, poco planas y romas. En los surcos ambulacrales y en el interradio, se presentan pequeños pedicelarios rectos.

**Reportes previos en el estado:** Anegada de Afuera, Blanquilla, Lobos, Hornos, La Perla y Oro Verde (Durán-González *et al.*, 2005; Martín-Cao-Romero, 2012; Escárcega-Qui-

roga, 2014; González *et al.*, 2015; Rubí-Espinos, 2016).

**Distribución geográfica:** Desde Carolina del Norte hasta el este de Brasil (Bahía Salvador), Bermudas, Azores, sur de Bahía Biscay afuera de Francia a Islas Canarias y Cabo Verde, Guinea, Mediterráneo; aparentemente ausente ecuatorialmente (A. M. Clark y Downey, 1992).

**Distribución batimétrica:** De 0 hasta 165 m (A. M. Clark y Downey, 1992).

**Material examinado:** Ocho ejemplares. ICML-UNAM 2.140.0, Anegada de Afuera; ICML-UNAM 2.140.1, isla Lobos; ICML-UNAM 2.140.2, isla Lobos; ICML-UNAM 2.140.3, isla Lobos; ICML-UNAM 11441, isla Lobos.

**Color en vivo:** Individuos del Mediterráneo usualmente son amarillos o amarillos-blanco, con parches café o negros; los anillos de pedicelarios son rojos. Ejemplares de las Bermudas usualmente son morado claro o violeta, y actualmente amarilloso violeta. Los de Brasil son color naranja-café (A. M. Clark y Downey, 1992).

## DISCUSIÓN

Hasta el año 2015, el listado de los asteroideos para el estado de Veracruz estaba constituido por 44 especies (Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; Martín-Cao-Romero, 2012; Vassallo *et al.*, 2014; González *et al.*, 2015). En este estudio, el número de especies de estrellas de mar para el estado se reduce a solo 37 especies, lo cual representa el 16.2 % de la biodiversidad total en México, y el 1.9 % de la biodiversidad mundial (Mah y Blake, 2012; Solís-Marín *et al.*, 2017). El orden con

mayor riqueza específica es Paxillosida (17 spp.) y los de menor riqueza específica son Velatida, Spinulosida y Brisingida con una especie cada uno. Mientras que la familia con mayor riqueza específica es Astropectinidae (10 spp.) y las de menor riqueza específica son Gonioplectinidae, Pseudarchasteridae, Pseudarchasteridae, Odontasteridae, Asterinidae, Asteropseidae, Oreasteridae, Pterasteridae, Echinasteridae, Asteroiidae y Brisingidae, con una especie cada una.

Los listados taxonómicos de equinodermos del estado de Veracruz presentados por Durán-González *et al.* (2005) y Solís-Marín *et al.* (2007) reportaron a las siguientes especies de asteroideos: *Luidia (Luidia) heterozona* Fisher, 1940; *Luidia (Luidia) sarsi* Dübén y Koren, 1845; *Astropecten alligator* Perrier, 1881; *Astropecten cingulatus* Sladen, 1883; *Astropecten comptus* Verrill, 1915; *Persephonaster patagiatus* (Sladen, 1889); *Cheiraster (Christopheraster) ludwigi* Fisher, 1913; *Apollonaster yucatanensis* Halpern, 1970 y *Echinaster (Othilia) serpentarius* Müller y Troschel, 1842; sin embargo, estos reportes carecen de ejemplares o, en su caso, de una correcta identificación que respalden su registro (tabla 1). Particularmente, *Astropecten cingulatus* Sladen, 1883 y *Astropecten nitidus* Verrill, 1915 han sido reportadas para el estado (Durán-González *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2007; Martín-Cao-Romero, 2012; Vassallo *et al.*, 2014); sin embargo, las características morfológicas (forma del cuerpo, ornamentación inferomarginal y adambulacral) de los ejemplares de ambas especies no coinciden con las descripciones proporcionadas por Sladen (1883), Verrill (1915) y Lawrence *et al.* (2017; 2018), y fueron reidentificados como *Astropecten karankawai* Lawrence *et al.* (2018) y *Astropecten cf. cingulatus* Sladen (1883). En el caso de *Astropecten cf. cingulatus* Sladen 1883, la diferencia principal con *A. cingulatus* es la ausencia de espinas con forma de escuámulo sobre las placas inferomarginales, por lo que presentan una apariencia más desnuda.

En el caso de la familia Benthoplectinidae, las especies *Cheiraster (Christopheraster) ludwigi* Fisher, 1913 y *Cheiraster (Christopheras-*

*ter) blakei* A. M. Clark, 1981 fueron reportadas para el estado por Durán-González *et al.* (2005) y Solís-Marín *et al.* (2007), señalando que el material de ambas especies se encuentra depositado en USNM. De los Palos (2017) únicamente revisó material de la colección ICML-UNAM, y no reportó a dichas especies para el estado. Además, se realizó una búsqueda física y en bases de datos de dicho material, y no se encontró un ejemplar que valide su presencia en el estado. El único ejemplar existente de *C. (Cheiraster) ludwigi* corresponde a Indonesia (USNM 32627), mientras que para *C. (Christopheraster) blakei* el único lote (ICML-UNAM 2.169.0) corresponde al estado de Yucatán.

Respecto al registro de *Odontaster hispidus* Verrill, 1880 presentado por Martín-Cao-Romero (2012), el ejemplar (ICML-UNAM 2.91.1) comparte más características morfológicas con *Odontaster setosus* Verrill, 1899; sin embargo, las diferencias entre ambas especies y *Odontaster robustus* Verrill, 1899 no son claras, por lo que se requiere revisar el material tipo de las tres especies para confirmar la presencia de *O. hispidus* u *O. setosus* en el estado.

El género *Echinaster* Müller y Troschel, 1840 tiene una complicada historia taxonómica a nivel subgénero y especie. La revisión realizada por Medeiros-Lopes *et al.* (2016) señalan las diferencias morfológicas entre los subgéneros *Echinaster* y *Othilia*; sin embargo, no presentan descripciones de las especies pertenecientes a ambos subgéneros, por lo que la separación de las especies se sigue cuestionando. *Echinaster (Othilia) serpentarius* Müller y Troschel, 1842 fue descrita a partir de ejemplares recolectados en Veracruz,

**Tabla 1.** Registros inválidos de asteroideos para el estado de Veracruz.

Especie	Literatura	No. catálogo	Registro actualizado
<i>Luidia</i> (Luidia) <i>heterozona</i> Fisher, 1940	Durán-González <i>et al.</i> (2005); Solís-Marín <i>et al.</i> (2007); Martín-Cao-Romero (2012)	USNM E 22188	<i>Luidia heterozona heterozona</i> Fisher, 1940
<i>Luidia</i> (Luidia) <i>sarsii</i> Düben y Koren, 1845	Durán-González <i>et al.</i> (2005); Solís-Marín <i>et al.</i> (2007); Martín-Cao-Romero (2012)	USNM E 13211	<i>Luidia sarsii elegans</i> Perrier, 1875
<i>Astropecten alligator</i> Perrier, 1881	Durán-González <i>et al.</i> (2005); Solís-Marín <i>et al.</i> (2007); Martín-Cao-Romero (2012)	USNM E 34904 (Tamaulipas)	<i>Astropecten americanus</i> (Verrill, 1880)
<i>Astropecten cingulatus</i> Sladen, 1883	Durán-González <i>et al.</i> (2005); Solís-Marín <i>et al.</i> (2007); Martín-Cao-Romero (2012)	ICML-UNAM 2.135.23; ICML-UNAM 2.135.7; ICML-UNAM 2.135.6; ICML-UNAM 2.135.29; ICML-UNAM 2.135.30; ICML-UNAM 2.135.31; ICML-UNAM 2.135.32; ICML-UNAM 2.135.36; ICML-UNAM 2.135.38.	<i>Astropecten karankawai</i> Lawrence <i>et al.</i> , 2018
		ICML-UNAM 2.130.0; ICML-UNAM 2.130.7	<i>Astropecten cf. cingulatus</i> (Sladen, 1883)
<i>Astropecten comptus</i> Verrill, 1915	Durán-González <i>et al.</i> (2005); Solís-Marín <i>et al.</i> (2007); Martín-Cao-Romero (2012)	ICML-UNAM 2.19.35	<i>Astropecten articulatus</i> (Say, 1825)
		ICML-UNAM 2.19.39	<i>Astropecten americanus</i> (Verrill, 1880)
		ICML-UNAM 2.19.40	<i>Astropecten karankawai</i> Lawrence <i>et al.</i> , 2018.
<i>Persephonaster patagiatus</i> (Sladen, 1889)	Durán-González <i>et al.</i> (2005); Solís-Marín <i>et al.</i> (2007); Martín-Cao-Romero (2012)	ICML-UNAM 2.167.0	<i>Goniopecten demonstrans</i> Perrier, 1881
<i>Cheiraster</i> ( <i>Christopheraster</i> ) <i>ludwigi</i> Fisher, 1913	Durán-González <i>et al.</i> (2005); Solís-Marín <i>et al.</i> (2007); Martín-Cao-Romero (2012)	No localizado.	-
<i>Apollonaster yucatanensis</i> Halpern, 1970	Durán-González <i>et al.</i> (2005); Solís-Marín <i>et al.</i> (2007); Martín-Cao-Romero (2012)	ICML-UNAM 2.168.0; ICML-UNAM 2.168.1	<i>Plinthaster dentatus</i> (Perrier, 1884)

y ha sido reportada para el estado por Ives (1890), Durán-González *et al.* (2005), Solís-Marín *et al.* (2007) y López-Chávez (2017). Los especímenes de la especie (ICML-UNAM 2.49.79; ICML-UNAM 2.49.86) no coinciden morfológicamente con los sintipos (MNHN-

IE-2014-42) ni con la descripción del lectotipo y paralectotipos designados por A. M. Clark y Downey (1992) MNHN Ec As 1741, así como con *E. (Othilia) brasiliensis* Müller y Troschel, 1842 y *E. (Othilia) echinophorus* (Lamarck, 1816) reportadas para el estado

por Gamboa (1978) y Escárcega-Quiroga (2014), o alguna otra especie del género. Esta situación, hace dudoso el registro de *E. (Othilia) serpentarius* para el estado, por lo que se sugiere la revisión del material tipo de la especie, así como una mayor cantidad de material proveniente de otras localidades del golfo de México y del Atlántico, con el fin de poder realizar una redescrición de la especie y corroborar su presencia en el estado.

Las siguientes especies han sido reportadas para el estado; sin embargo, no se tuvo acceso al material correspondiente: *Mithrodia clavigera* (Lamarck, 1816), *Echinaster (Othilia) brasiliensis* Müller y Troschel, 1842 y *E. (Othilia) echinophorus* (Lamarck, 1816) (Gamboa, 1978; De la Cruz, 2013; Escárcega-Quiroga, 2014; González *et al.*, 2015). Únicamente de *Copidaster lymani* A. H. Clark, 1948 se examinó un ejemplar (ICML-UNAM 2.190.3), el cual fue reidentificado como *O. guildingii*.

Se presenta un nuevo registro de la especie *Plutonaster bifrons* (Wyville Thomson, 1873) para el estado de Veracruz (ICML-UNAM 2.112.3; ICML-UNAM 2.112.4; ICML-UNAM

2.112.5; ICML-UNAM 11749). Para la localidad de Nautla, se presenta como nuevo registro a *L. clathrata* y para las localidades de Alvarado y los Bajos de Tuxpan, se reporta por primera vez a *A. articulatus*.

*Dytaster insignis* (Perrier, 1884) ha sido reportada desde los 2 209 a 3 654 m (Alvarado *et al.*, 2013); en este trabajo, se amplía su distribución batimétrica en su límite más somero a 777 m de profundidad. Así como también, *Midgardia xandaros* Downey, 1972, tenía una distribución batimétrica reportada de 366 a 460 m (Alvarado *et al.*, 2013), sin embargo, se amplía su distribución batimétrica en su límite más profundo, hasta los 671.9 m.

Desde que *Poraniella echinulata* (Perrier, 1881) fue descrita, solo se han reportado y descrito ejemplares con una talla de hasta R= 16-17 mm (Perrier, 1881; 1884; 1894; Verrill, 1914; 1915; Fisher, 1928; Downey, 1973; A. M. Clark y Downey, 1992; Hendler *et al.*, 1995). Se presenta por primera vez la descripción de un ejemplar de una talla mayor (R= 21.6 mm).

## CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El elenco taxonómico de estrellas de mar (Echinodermata: Asteroidea) presentes en aguas someras y profundas del estado de Veracruz, consta de 37 especies. El orden y la familia con mayor riqueza específica son Paxillosida (17 spp) y Astropectinidae (10 spp), respectivamente. Mientras que los órdenes y las familias con menor riqueza específica son Velatida, Spinulosida y Brisingida (1 sp.) y Gonioplectinidae, Pseudarchasteridae, Odontasteridae, Asterinidae, Asteropseidae,

Oreasteridae, Pterasteridae, Echinasteridae, Asteroidea y Brisingidae (1 sp.).

Los registros de las siguientes especies: *Luidia (Luidia) heterozona* Fisher, 1940; *Luidia (Luidia) sarsi* Düben y Koren, 1845; *Astropecten alligator* Perrier, 1881; *Astropecten cingulatus* Sladen, 1883; *Astropecten comptus* Verrill, 1915; *Persephonaster patagiatus* (Sladen, 1889); *Cheiraster (Christopheraster) ludwigi* Fisher, 1913; *Apollonaster yucatanensis* Halpern, 1970 y *Echinaster (Othilia) serpentarius*

Müller y Troschel, 1842, son considerados inválidos debido a la ausencia de material o de una correcta identificación que respalde su presencia en el estado (tabla 1).

Se presenta a *Plutonaster bifrons* (Wyville Thomson, 1873) como nuevo registro para el estado de Veracruz. *L. clathrata* es nuevo registro para la localidad de Nautla, y *A. articulatus* se reporta por primera vez para Alvarado y los Bajos de Tuxpan. La distribución batimétrica de *Dytaster insignis* (Perrier, 1884) se amplía en su límite inferior a 777 m.

Se sugiere la revisión del material tipo de *Odontaster hispidus*, *Odontaster setosus* y *Odontaster robustus* para definir los límites de cada especie y confirmar la presencia de alguna de las tres especies en el estado. Asimismo, se recomienda la examinación de los sintipos, lectotipo, paralectotipos de *Echinaster (Othilia) serpentarius*, con el fin de confirmar su registro o el de alguna otra especie del género para el estado. Se presenta por primera vez la descripción de un ejemplar de mayor talla (R= 21.6 mm) de *Poraniella echinulata*.

## LITERATURA CITADA

- Agassiz, A., 1878. *Reports of the results of dredging, under the supervision of the Alexander Agassiz, in the Gulf of Mexico, by the United States Coast Survey Steamer "Blake". II. Report on the Echini*. Series no. 5, Bulletin of the Museum of Comparative Zoology, 14 pp.
- Alvarado, J. J., F. A. Solís-Marín & M. Abreu-Pérez. 2013. Appendix. pp. 543-654. En: J. J. Alvarado y F. A. Solís-Marín (eds.). *Echinoderm Research and Diversity in Latin America*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 658 pp.
- Arenas, V. & M. Lozano, 2010. El mar y Veracruz. pp. 9-32. En: V. Arenas., A. Quintero., S. Iglesias., D. Salas & M. Lozano. *Gran Enciclopedia del Mar*. Vol. 7. Agencia Promotora de Publicaciones. 287 pp.
- Baeta, M. & Ramón M., 2013. Feeding ecology of three species of *Astropecten* (Asteroidea) coexisting on shallow sandy bottoms of the northwestern Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 160: 2781-2795.
- Baird, A.H., M.S. Pratchett, A.S. Hoey, Y. Herdiana & S.J. Campbell, 2013. *Acanthaster planci* is a major cause of coral mortality in Indonesia. *Coral Reefs*, 32:803-812.
- Barrios, J.V., C.F. Gaymer, J.A. Vásquez & K. B. Brokordt, 2008. Effect of the degree of autotomy on feeding, growth, and reproductive capacity in the multi-armed sea star *Heliaster helianthus*. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 361:21-27.
- Benavides-Serrato, M., G. Borrero-Pérez & C. Díaz-Sánchez, 2011. *Equinodermos del Caribe Colombiano II: Echinoidea y Holothuroidea*. Serie de Publ. Esp. del Invemar, Colombia. 384 pp.
- Cárdenas, S., 2010. Equinodermos en el arrecife Lobos, Veracruz. *Tesis Licenciatura, Universidad Veracruzana*, Tuxpan, Ver. 66 pp.
- Caso, M.E., 1961. Estado actual de los conocimientos de los equinodermos de México. *Tesis Doctorado, Facultad de Ciencias UNAM*, Ciudad de México. 338 pp.
- Chávez, E., E. Hidalgo & M. Sevilla, 1970. Datos acerca de las comunidades bentónicas del arrecife de Lobos, Veracruz. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 31:211-280.
- Clark, A.M. & M.E. Downey, 1992. *Starfishes of the Atlantic*. Natural History Museum Chapman Hall, London. 794 pp.

- Clark, A.M., 1989. An index of names of recent Asteroidea: part 1. Paxillosoida and Notomyotida. pp. 225-347. En: M. Jangoux & J.M. Lawrence (eds.). Echinoderm Studies 3. A. Balkema. 383 pp.
- Clark, A.M., 1993. An index of names of recent Asteroidea: part 2. Valvatida. pp. 187-366. En: M. Jangoux & J.M. Lawrence (eds.). Echinoderm Studies 4. A. A. Balkema. 368 pp.
- Clark, A.M., 1996. An index of names of recent Asteroidea: part 3. Velatida and Spinulosida. pp. 183-250. En: M. Jangoux & J.M. Lawrence (eds.). Echinoderm Studies 5. A. Balkema. 354 pp.
- Clark, A.M. & C. Mah. 2001. An index of names of recent Asteroidea: part 4. Forcipulatida and Brisingida. pp. 229-347. En: M. Jangoux & J.M. Lawrence (eds.). Echinoderm Studies 6. A. Balkema. 354 pp.
- De la Cruz, V., 2013. Estructura de las comunidades macrobentónicas y neotónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz, México. *Tesis Maestría, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Ver.* 109 pp.
- De la Cruz, V., I. Morales-Quijano & M. González-González, 2017. Equinodermos del polígono arrecifal Tuxpan, Área de Protección de Flora y Fauna, México. *Revista de Investigaciones Marinas*, 37(2):46-60.
- De la Lanza, G., 1991. *Oceanografía de mares mexicanos*. AGT, México. 569 pp.
- De los Palos, M., 2017. Descripción taxonómica de las especies de la familia Benthoplectinidae (Echinodermata: Asteroidea) del Golfo de México resguardados en la Colección Nacional de Equinodermos Dra. Ma. Elena Caso M., ICML-UNAM. *Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, Ciudad de México*. 104 pp.
- Downey, M., 1972. *Midgardia xandaros* new genus, new species, a large brisingid starfish from the Gulf of Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 84: 421-426.
- Downey, M., 1973. Starfishes from the Caribbean and the Gulf of Mexico. *Smithsonian Contributions to Zoology*, 126:1-158.
- Durán-González, A., A. Laguarda-Figueras, F. Solís-Marín, B. Buitrón, C. Gust & J. Torres-Vega, 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 53(3):53-68.
- Escárcega-Quiroga, P. A. 2014. Equinodermos asociados a los arrecifes de cinco regiones marinas prioritarias de Veracruz (Golfo de México occidental): composición y distribución. *Tesis Licenciatura Universidad Veracruzana, Tuxpan, Ver.* 54 pp.
- Fisher, W. K. 1928. Sea stars from the Arcturus Oceanographic Expedition. *Zoologica*, 8:487-493.
- Gamboa, J., 1978. Estudio preliminar acerca de la fauna de equinodermos de la costa norte del estado de Veracruz. *Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey*. 42 pp.
- González-Gándara, C., F. Solís-Marín, V. De la Cruz-Francisco, A. Granados-Barba, J. Salas-Pérez, J. Argüelles-Jiménez & P. Escárcega-Quiroga, 2015. Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes del norte y sur de Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 63:183-193.
- Halpern, J.A., 1970. Biological investigations of the deep sea. 51. Goniasteridae (Echinodermata, Asteroidea) of the Straits of Florida. *Bulletin of Marine Sciences*, 20:193-286.
- Henkel, D.H., 1982. Echinoderms of Enmedio Reef, Southwestern Gulf of Mexico. *Tesis Maestría, Corpus Christi State University, Corpus Christi, Texas*. 78 pp.
- Hendler, G., J. Miller, D. Pawson & P. Kier, 1995. *Sea stars, sea urchins and allies. Echinoderms of Florida and the Caribbean*. Smithsonian Institution, USA. 392 pp.
- Ives, J., 1890. Echinoderms from the Northern Coast of Yucatan and the Harbor of Veracruz. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 42:317-360.

- Lawrence, J.M. & J. Cobb, 2017. Validation of *Astropecten jarli* Madsen, 1950 and implications for *A. cingulatus* Sladen, 1883 (Paxillosida: Astropectinidae). *Zootaxa*, 4269(1):101-114.
- Lawrence, J., A. Durán-González., F. A. Solís-Marín., J. C. Herrera & C. R. Ventura. 2013. Distribution of *Luidia clathrata* and *Luidia lawrencei* (Echinodermata: Asteroidea) along the coast of the western Atlantic Ocean, the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. *Cahiers de Biologie Marine*, 54: 525-529.
- Lawrence, J.M., J.C. Cobb, J. Herrera, A. Durán-González & F. Solís-Marín, 2018. Morphological comparison of *Astropecten cingulatus* and a new species of *Astropecten* (Paxillosida, Astropectinidae) from the Gulf of Mexico. *Zootaxa*, 4407(1):086-100.
- López-Chávez, C., 2017. Diversidad del Phylum Echinodermata en el arrecife de coral "Perla del Golfo", Veracruz, México. *Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM, CDMX*. 82 pp.
- Mah, C. & D.B. Blake, 2012. Global diversity and phylogeny of the Asteroidea (Echinodermata). *PloS ONE*, 7(4):e35644.
- Mah, C. & D. Foltz, 2011. Molecular phylogeny of the Valvatacea (Asteroidea: Echinodermata). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 161(4):769-788.
- Mah, C., 2018. World Register of Marine Species. World Asteroidea Database. En: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=992940> on 2018-06-30.
- Martín-Cao-Romero, C. 2012. Biogeografía de la clase Asteroidea (Blainville, 1830) en las aguas mexicanas del Golfo de México y caribe mexicano. *Tesis Maestría Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, Ciudad de México*. 333 pp.
- Medeiros-Lopes, E., Pérez-Portela, R., Paiva, P. C. & C. R. Ventura. 2016. The molecular phylogeny of the sea star *Echinaster* (Asteroidea: Echinasteridae) provides insights for genus taxonomy. *Invertebrate Biology*, 135(3):235-244.
- Moore, D., 1958. Notes on Blanquilla reef, the most northerly coral formation in the western Gulf of Mexico. *Publications of the Institute of Marine Science*, 5:151-155.
- Morales-Quijano, I. 2015. Análisis ecológico de los equinodermos del arrecife Enmedio, Veracruz: composición, abundancia, densidad y semejanza a escala local y regional. *Tesis Universidad Veracruzana, Tuxpan, Ver.* 82 pp.
- O'Loughlin, P.M. & J.M. Waters. 2004. A molecular and morphological revision of genera of Asterinidae (Echinodermata: Asteroidea). *Memoirs of Museum Victoria*, 61(1):1-40.
- Ortíz-Lozano L., H. Pérez-España., A. Granados-Barba., C. González-Gándara., A. Gutiérrez-Velázquez y J. Martos, 2013 The reef corridor of the southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22-32.
- Perrier, E., 1875. *Revisión de la collection de Stellérides du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris*. Reinwald, France. 384 pp.
- Perrier, E., 1881. Description sommaire des espèces nouvelles d'astéries. Reports on the results of dredging under the supervision on Alexander Agassiz in the Gulf of Mexico, 1877-1878, by the United States Coast Survey Steamer "Blake", Lieut-commander C. D. Sigsbee, U. S. N. commanding and the Caribbean Sea, 1878-1879, by the U. S. C. S. S. "Blake" commander J. R. Bartlett, U. S. N. commanding. *Bulleting of Museum of Comparative Zoology*, 9: 1-31.
- Perrier, E., 1884. Mémoire sur les étoiles de mer recueillies dans la Mer des Antilles et la Golfe de Mexique. *Nouvelles Archives du Muséum d'Histoire Naturelle de Paris*, 6(2):127-276.
- Perrier, E., 1894. *Stellérides*. Expéditions scientifiques du Travailleur et du Talisman No. 3. Masson, France. 431 pp.

- Rathbun, R., 1885. Report upon the echini collected by the United States Fish Commission Steamer "Albatross" in the Caribbean Sea and Gulf of Mexico, January to May, 1884. *Proceedings of the United States National Museum*, 3:1-83.
- Rubí-Espinos, Y.D., 2016. Equinodermos del arrecife Oro Verde: riqueza, distribución y afinidad con los arrecifes de Veracruz. *Tesis Licenciatura Universidad Veracruzana*, Tuxpan, Ver. 59 pp.
- Sladen, W.P., 1891. Report on a collection of Echinodermata from the south-west coast of Ireland. *Proceedings of the Royal Irish Academy*, 1:687-704.
- Solís-Marín, F., A. Laguarda-Figueras & A. Gordillo, 2007. Estudio taxonómico de los equinodermos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 73-100. En: A. Granados., L. Abarca y J. Vargas (eds.). *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche, México. 304 pp.
- Solís-Marín, F., A. Laguarda-Figueras & M. Honey-Escandón, 2014. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:441-449.
- Solís-Marín, F., A. Caballero-Ochoa, S. Frontana-Uribe, A. Laguarda-Figueras & A. Durán-González, 2017. *Catálogo de Autoridades Taxonómicas de los Equinodermos (Echinodermata) de México. Informe final, SNIB-CONABIO, proyecto No. Z002*. UNAM, CDMX. 39 pp.
- Soto, M. & D. Geissert, 2007. Geografía. pp. 293-300. En: A. Cruz (ed.). *Biodiversidad en Veracruz: estudio de estado*. Volumen 1. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología. 684 pp.
- Ummels, F., 1963. Asteroids from the Netherlands Antilles and other Caribbean localities. (Oreasteridae, Ophidiasteridae, Asterinidae, Luidiidae). *Studies on the Fauna of Curacao and other Caribbean islands*, 15:72-101.
- Valentin, G. 1841. *Monographies d'Echinodermes vivants et fossils. Monographies d'Echinodermes, Scutelles. Anatomie*. Neuchâtel. Nos Publications, France. 155 pp.
- Vassallo, A., Y. Dávila, N. Luviano, S. Deneb-Amozurrutia, X. Guadalupe, C. Conejeros, L. Vázquez & F. Álvarez, 2014. Inventario de invertebrados de la zona rocosa intermareal de Montepío, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 55(2):349-362.
- Verrill, A.E., 1899. Revision of certain genera and species of starfishes with descriptions of new forms. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 10:145-234.
- Verrill, A.E., 1915. Report on the starfishes of the West Indies, Florida and Brazil. *Bulletin from the laboratories of Natural History of the State University of Iowa*, 7(1):1-232.
- Verrill, A.E., 1914. Revision of some genera and species of starfishes, with descriptions of a few new genera. *Annals & Magazine of Natural History*, 14(79):13-22.
- Villanueva, V., 2008. Primer registro de equinodermos del talud del arrecife "La Galleguilla", Veracruz con análisis ecológico. Facultad de Estudios Superiores Iztacala UNAM, CDMX. 112 pp.
- Zhang, Z-Q. 2013. Animal biodiversity: An update of classification and diversity in 2013. *Zootaxa*, 3703(1):005-011.



González-Gándara, C., A. G. Jordán Garza, L. D. Ortiz-Lozano, J. J. Salas-Pérez y C. Domínguez-Barradas, 2019. Las Comunidades de Erizos Regulares en Dos Bancos Sumergidos de Veracruz, México, p. 99-112. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Las Comunidades de Erizos Regulares en Dos Bancos Sumergidos de Veracruz, México

Carlos González-Gándara<sup>1\*</sup>, Adán Guillermo Jordán Garza<sup>1</sup>,  
Leonardo D. Ortiz-Lozano<sup>2</sup>, José de Jesús Salas-Pérez<sup>1</sup>  
y Consuelo Domínguez-Barradas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Tuxpan, Universidad Veracruzana

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

\*cggandara@hotmail.com

## RESUMEN

En la presente investigación se compara, la riqueza, distribución y abundancia de las comunidades de erizos regulares en los arrecifes Palo Seco y Pantepec, partiendo de su importancia ecológica en la estructura y funcionamiento de los sistemas arrecifales y de la ausencia de información sobre las comunidades de erizos en bancos sumergidos veracruzanos. Para este fin, se realizaron seis expediciones durante el verano de los años 2015, 2016 y 2017, efectuando 39 censos visuales en Pantepec y 54 en Palo Seco. Los muestreos fueron distribuidos sistemáticamente en tres estratos de profundidad, registrando la riqueza y abundancia de erizos mediante transectos en banda de 25 x 2 m utilizando equipo de buceo autónomo SCUBA. Los componentes del bentos se definieron a partir de 3014 fotografías analizadas con el programa *Coral Point Count*. Los grupos funcionales se relacionaron con los sitios y los erizos utilizando un análisis de correlación canónica. Asimismo, se comparó la abundancia de erizos entre arrecifes y estratos de profundidad usando una prueba t-student. Un total de seis especies forman la comunidad de erizos de los arrecifes Pantepec y Palo Seco, *Echinometra viridis* domina en el primero y *Eucidaris tribuloides* en el segundo. Destaca la mayor abundancia relativa de *Diadema antillarum* en Pantepec y de *Lytechinus williamsi* en Palo Seco. La densidad general de los erizos es mayor en Palo Seco (0.91 ind/m<sup>2</sup>) con respecto a Pantepec (0.22 ind/m<sup>2</sup>). En general, los erizos fueron más abundantes en las áreas someras, pero las diferencias fueron significativas únicamente en

Palo Seco. Un total de ocho grupos morfofuncionales caracterizan el sustrato bentónico de los sistemas Pantepec y Palo Seco, donde: algas turf, roca y arena son más relevantes en el primero; y algas turf, esponjas y roca, en el segundo. La profundidad es un factor importante que define la estructura de las comunidades de erizos en los arrecifes Pantepec y Palo Seco. Además, las diferencias parecen estar relacionadas con los componentes del sustrato, especialmente con la presencia de esponjas, macroalgas y algas turf.

**Palabras clave:** equinoideos, arrecifes coralinos, Veracruz

## ABSTRACT

In the present investigation the richness, distribution and abundance of the regular urchin communities in the Palo Seco and Pantepec reefs are compared, starting from their ecological importance in the structure and functioning of the reef systems and the absence of information on the communities of sea urchins in submerged banks in Veracruz. For this purpose, six expeditions were made during the summer of 2015, 2016 and 2017, carrying out 39 visual censuses in Pantepec and 54 in Palo Seco. The samplings were systematically distributed in three depth strata, recording richness and abundance of sea urchins through transects in band of 25 x 2 m using SCUBA autonomous diving equipment. The components of the benthos were defined from 3014 photographs analyzed with the Coral Point Count program. The functional groups were related to the sites and the sea urchins using a canonical correlation analysis. Likewise, the abundance of urchins between reefs and depth strata was compared using a t-student test. Six species form the community of sea urchins from the Pantepec and Palo Seco reefs. *Echinometra viridis* dominates in the first and *Eucidaris tribuloides* in the second one. The highest relative abundance of *Diadema antillarum* in Pantepec and *Lytechinus williamsi* in Palo Seco stands out. The general density of urchins is higher in Palo Seco (0.91 ind./m<sup>2</sup>) than in Pantepec (0.22 ind./m<sup>2</sup>). In general, sea urchins were more abundant in shallow areas, but the differences were significant only in Palo Seco. Eight morpho-functional groups characterize the benthic substrate of the Pantepec and Palo Seco systems. Turf algae, rock and sand are more relevant in Pantepec; and turf algae, sponges and rock, in the Palo Seco. The depth is an important factor that defines the structure of the sea urchins communities in the Pantepec and Palo Seco reefs. In addition, the differences seem to be related to the components of the substrate, especially with the presence of sponges, macroalgae and algae turf.

**Keywords:** Echinoids, coral reefs, Veracruz

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas arrecifales se caracterizan por su notable diversidad biológica (Birke-land, 2015) que resulta de procesos históricos, oceanográficos, ecológicos y evolutivos (Sheppard *et al.*, 2009). En general, la estructura coralina depende de los procesos de acreción y erosión (Sorokin, 1995) que están relacionados con la tasa de calcificación (Carricart-Ganivet, 2004), el reciclamiento de carbonato de calcio (Lebrato *et al.*, 2010), la bioerosión (Glynn, 2015) y el control de las

comunidades de algas (Graham *et al.*, 2013) donde intervienen varios grupos taxonómicos, entre ellos los equinoideos.

La distribución y abundancia de las comunidades de erizos presentan variaciones que se relacionan con los atributos del hábitat y la disponibilidad de alimento (Tuya *et al.*, 2007; Steneck, 2013). De esta forma, especies como: *Echinometra lucunter* prefieren zonas rocosas, con gran dinámica (Celaya-Hernández *et al.*, 2008; Capetillo *et al.*, 2011; Mc-

Clanahan y Muthiga, 2013); y otras, como *Lytechinus variegatus* y *Tripneustes ventricosus* ocupan áreas cubiertas de pastos marinos con oleaje débil (Lawrence y Agatsuma, 2013; Watts *et al.*, 2013). Además de las características del sustrato arrecifal, la profundidad, es otro factor que puede marcar diferencias en la distribución, ya que en las zonas profundas, disminuyen los fotótrofos e incrementan los animales heterótrofos (Birkeland, 1997). En este sentido, Pérez-España *et al.* (2015) refieren que *Echinometra viridis* domina en las zonas profundas y *E. lucunter* en las someras de los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

A pesar de la importancia de las asociaciones de erizos para los arrecifes coralinos, el conocimiento de su estructura en los sistemas veracruzanos es limitado. Únicamente existen tres publicaciones: Celaya-Hernández *et al.* (2008) sobre distribución y abundancia en la planicie arrecifal de isla Verde; Pérez-España *et al.* (2015) que, en general, citan a *E. viridis* y *E. lucunter* como las especies más abundantes de equinodermos en arrecifes del SAV; y Morales-Quijano *et al.* (2017) que también documenta a *E. viridis* y *E. lucunter* como las de mayor densidad pero en el arrecife En-

medio del Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT).

En la plataforma continental frente a Veracruz, dentro del Corredor Arrecifal del Sureste del Golfo de México (CASGM), hay arrecifes coralinos sumergidos de los cuales de acuerdo con Ortiz-Lozano *et al.* (2018) se sabe poco. En ellos, las condiciones de profundidad, turbidez y cobertura coralina contrastan con las que ocurren en los arrecifes emergidos. Los antecedentes sobre la comunidad de equinoideos en estos sistemas resaltan sus componentes específicos (González-Gándara *et al.*, 2015), pero es necesario contar con información acerca de la distribución y abundancia de los erizos para valorar su papel en el funcionamiento arrecifal y dentro del CASGM. Por ello, se seleccionaron dos formaciones arrecifales con atributos geomorfológicos parecidos, pero localizadas en zonas geográficas distantes Palo Seco en el sur, y Pantepec en el norte del CASGM, para estudiar la riqueza, distribución y abundancia de las comunidades de erizos regulares, partiendo de sus diferencias en localización geográfica y el volumen de descarga de los ríos asociados a ellos como son Tuxpan y Coatzacoalcos respectivamente (Salas-Pérez *et al.*, 2015).

## MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

El arrecife Pantepec se ubica a los 21°04'40" N y 97°14'30" O (figura 1); es un banco localizado sumergido frente al municipio de Tuxpan, Veracruz. Este sistema tiene una forma irregular casi ovalada con una longitud aproximada de 4 km en su eje norte-sur y 2.3 km en su eje este-oeste, con una profundidad

que va desde 15.5 a 17 m en los montículos, hasta 25 m en los alrededores. El arrecife Palo Seco se ubica a los 18°10'33" N y 94°31'32" O (figura 1), frente al municipio de Coatzacoalcos, Veracruz. Este sistema, del cual se desconocen sus dimensiones aun, posee formaciones rocosas coralinas o de origen volcánico con una cobertura coralina menor al

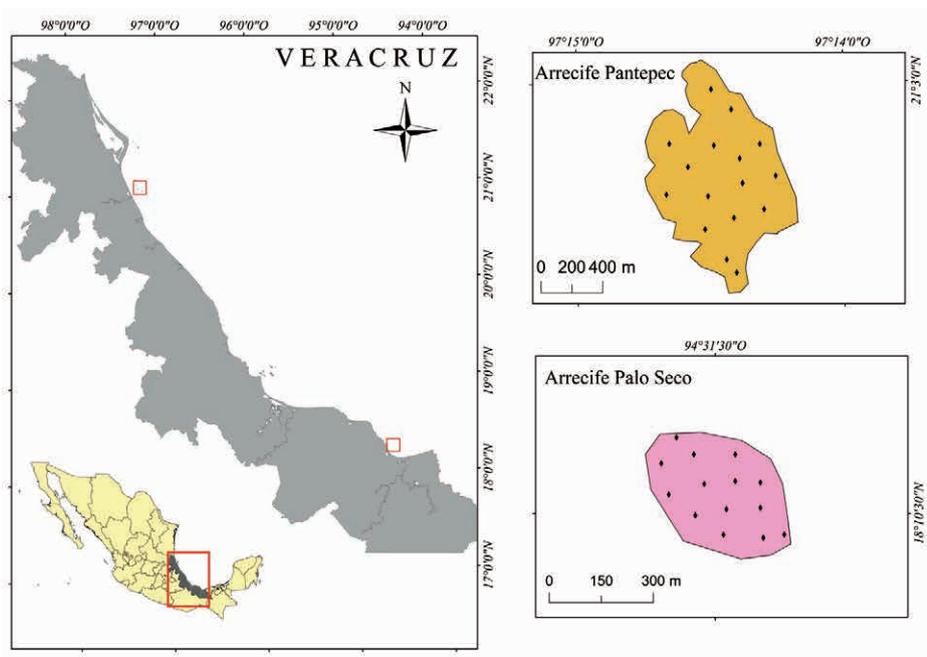


Figura 1. Localización geográfica de los bancos sumergidos: Pantepec y Palo Seco, Veracruz.

10 %, representada por *Pseudodiploria clivosa*, *Montastraea cavernosa*, *Siderastrea siderea* y *Oculina* sp. La profundidad oscila entre 12 y 22 m (González-Gándara *et al.*, 2015).

### RECOLECCIÓN DE DATOS

Se llevaron a cabo expediciones a los arrecifes Pantepec y Palo Seco durante el verano de los años 2015 a 2017 en el primero y 2016 en el segundo. Durante éstas, se realizaron 39 censos en Pantepec y 54 en Palo Seco, los cuales fueron distribuidos sistemáticamente en los arrecifes (figura 1) considerando dos estratos de profundidad (< 20 y > 20 m en el Pantepec; < 15 y > 15 m en Palo Seco). En cada sitio, se colocaron tres transectos en banda de 25x2 m para registrar las especies de erizos basadas en sus atributos morfológicos y de coloración (Hendler *et al.*, 1995).

La abundancia se estimó contabilizando el número de erizos de cada especie dentro de la banda, utilizando equipo de buceo autónomo SCUBA, buscando entre las rocas. Con los datos de abundancia se calculó la densidad (número total de erizos por m<sup>2</sup>). La abundancia absoluta de erizos se comparó entre arrecifes y también entre estratos de profundidad usando pruebas de t, previo análisis de los supuestos de homogeneidad de varianzas y distribución normal con el programa *Statgraphics Plus 5.1*.

Para caracterizar los componentes bentónicos de cada sitio muestreado, se tomaron 3 014 fotografías (1 470 en Palo Seco y 1 554 en el Pantepec) con una cámara Canon *Power Shot G16* de 16 megapíxeles. Estas fueron obtenidas tomando como referencia el transecto de 25x2m y fueron analizadas con el progra-

ma *Coral Point Count* (Kohler y Gill, 2006), usando 30 puntos al azar por imagen y ocho grupos morfofuncionales (esponjas, corales, macroalgas, algas costrosas, algas turf, arena, roca y materia orgánica). Esta información se

relacionó con la abundancia de erizos, utilizando un Análisis de Correlación Canónica (ACC) con el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001).

## RESULTADOS

La comunidad de erizos de los arrecifes Palo Seco y Pantepec está constituida por 6 especies, 5 géneros y 5 familias (tabla 1). La riqueza de erizos es mayor en el arrecife Palo Seco (6 especies) comparada con el Pantepec (4 especies).

La abundancia en general, es mayor en Palo Seco con respecto al Pantepec, en el primero fueron censados 2 467 erizos y en el segundo 703 en total. Los valores de abundancia relativa indican que, tanto *E. viridis* como *Eucidaris tribuloides* son dominantes, pero la primera, es más abundante en Pantepec, representando el 78.38 % del total. Por su parte, *E. tribuloides* presenta la mayor abundancia relativa (39.85 %) en Palo Seco. Las demás especies, mostraron contrastes, destacando la mayor abundancia relativa de *D. antillarum* en el Pantepec y de *L. williamsi* en Palo Seco (tabla 2)

A escala de estratos de profundidad, en Palo Seco, se observó que, en las áreas someras (menores a 15 m) son más abundantes: *E. viridis* y *E. tribuloides*, en cambio, en las zonas profundas (mayores a 15 m) domina la segunda (tabla 3). La prueba t-student indica que hay diferencias significativas en la abundancia entre los dos estratos ( $t = -3.79$ ;  $p = 0.004$ ). En el Pantepec, el patrón es diferente, en ambos estratos de profundidad domina *E. viridis* y todas las especies presentan una mayor abundancia relativa a mayor profundidad, la cual es más notable en *E. tribuloides* (tabla 4). La prueba estadística ( $t = 0.52$ ;  $p = 0.6$ ) indica ausencia de diferencias en la abundancia.

La densidad general de los erizos es mayor en Palo Seco ( $0.91 \text{ ind/m}^2$ ) con respecto a Pantepec ( $0.22 \text{ ind/m}^2$ ). Al comparar los estratos de profundidad, se observa mayor densidad en las zonas someras con respecto a las

**Tabla 1.** Lista comparativa de las especies de erizos regulares en los arrecifes Palo Seco y Pantepec, Veracruz.

Familia	Especie	Palo Seco	Pantepec
Cidariidae	<i>Eucidaris tribuloides</i> (Lamarck, 1816)	X	X
Diadematidae	<i>Diadema antillarum</i> Philippi, 1845	X	X
Arbaciidae	<i>Arbacia punctulata</i> (Lamarck, 1816)	X	
Toxopneustidae	<i>Lytechinus variegatus</i> (Lamarck, 1816)	X	
	<i>Lytechinus williamsi</i> Chesher, 1968	X	X
Echinometridae	<i>Echinometra viridis</i> A. Agassiz, 1863	X	X

**Tabla 2.** Abundancia relativa general de la comunidad de erizos en los arrecifes Palo Seco y Pantepec, Veracruz. En negritas se citan las especies con mayor porcentaje.

Arrecifes		
Especie	Palo Seco	Pantepec
<i>A. punctulata</i>	0.13	---
<i>D. antillarum</i>	0.03	0.05
<i>E. viridis</i>	0.29	<b>0.78</b>
<i>E. tribuloides</i>	<b>0.39</b>	0.15
<i>L. variegatus</i>	0.0008	---
<i>L. williamsi</i>	0.14	0.01

**Tabla 3.** Abundancia relativa de las especies de erizos en el arrecife Palo Seco, Ver. En negritas se citan las especies con mayor porcentaje.

Estratos de profundidad		
Especie	< 15m	>15m
<i>A. punctulata</i>	0.11	0.15
<i>D. antillarum</i>	0.05	0.004
<i>E. viridis</i>	0.37	0.11
<i>E. tribuloides</i>	0.33	0.53
<i>L. variegatus</i>	0.0006	0.0013
<i>L. williamsi</i>	0.12	0.18

**Tabla 4.** Abundancia relativa de las especies de erizos en el arrecife Pantepec, Ver. En negritas se citan las especies con mayor porcentaje.

Estratos de profundidad		
Especie	<20m	>20m
<i>E. tribuloides</i>	0.16	0.27
<i>D. antillarum</i>	0.02	0.08
<i>E. viridis</i>	0.79	0.61
<i>L. williamsi</i>	0.008	0.02

profundas en ambos sistemas. La densidad de erizos en estratos similares (15-20 m) de profundidad, es más alta en Palo Seco (0.73 ind/m<sup>2</sup>) (tabla 5).

La densidad por especie es diferente en cada sistema y estrato de profundidad, en

Palo Seco, la mayor densidad corresponde a *E. viridis* en las zonas con menos de 15 m de profundidad y a *E. tribuloides* en las profundas, mientras que en el Pantepec, la mayor densidad en ambos estratos de profundidad pertenece a *E. viridis* (tablas 6 y 7).

**Tabla 5.** Comparación de la densidad (ind/m<sup>2</sup>) de erizos en los estratos de profundidad de los arrecifes Palo Seco y Pantepec, Veracruz

Arrecife	Estratos de profundidad		
	<15 m	15-20 m	>20m
<i>Palo Seco</i>	1.02	0.73	
<i>Pantepec</i>		0.38	0.13

**Tabla 6.** Densidad poblacional de las especies de erizos por estrato de profundidad en el arrecife Palo Seco, Ver. En negritas se citan las especies con mayor porcentaje.

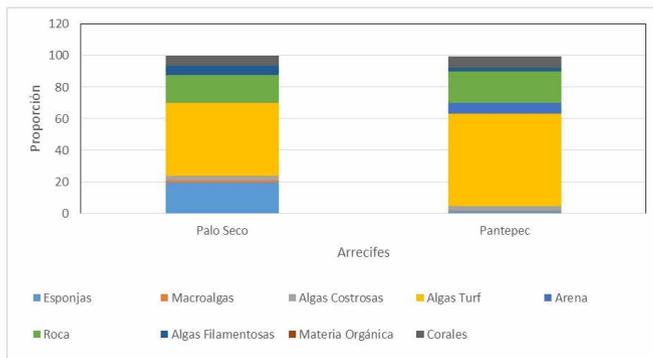
Especie	Estratos de profundidad	
	< 15m	>15m
<i>Arbacia punctulata</i>	0.12	0.11
<i>Diadema antillarum</i>	0.05	0.003
<i>Echinometra viridis</i>	<b>0.38</b>	0.08
<i>Eucidaris tribuloides</i>	0.34	<b>0.4</b>
<i>Lytechinus variegatus</i>	0.0006	0.0010
<i>Lytechinus williamsi</i>	0.13	0.14

**Tabla 7.** Densidad poblacional de las especies de erizos por estrato de profundidad en el arrecife Pantepec, Ver. En negritas se citan las especies con mayor porcentaje.

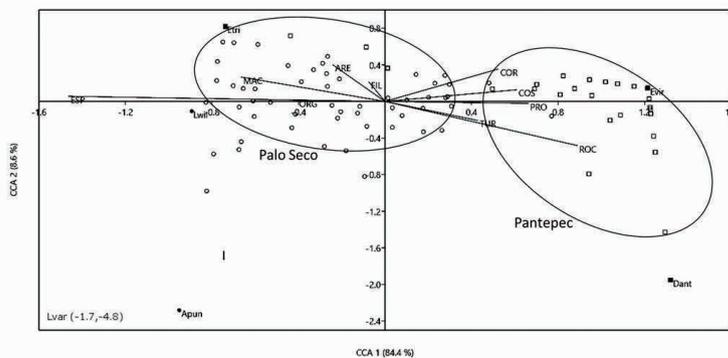
	<20m	>20m
<i>E. tribuloides</i>	0.05	0.04
<i>D. antillarum</i>	0.009	0.01
<i>E. viridis</i>	<b>0.25</b>	0.08
<i>L. williamsi</i>	0.003	0.003

Los sustratos de los arrecifes Pantepec y Palo Seco fueron en general parecidos, en el primer arrecife los grupos morfofuncionales dominantes fueron: algas turf, roca y arena, y en el segundo, algas turf, esponjas y roca. Otros grupos con menor proporción que marcan diferencias fueron macroalgas y algas filamentosas (cianobacterias), más evidentes en Palo Seco, y algas costrosas más notables en Pantepec. Con relación a la cobertura de corales, es menor al 10 % en ambos sistemas, pero ligeramente mayor en Pantepec (figura 2).

La comunidad de erizos de los arrecifes Pantepec y Palo Seco de acuerdo al análisis CCA, se separan en función de la abundancia y de las especies de erizos presentes. *D. antillarum* y *E. viridis* más abundantes en Pantepec, se relacionan con la cobertura coralina (COR), algas costrosas (COS), profundidad (PRO), roca (ROC) y algas turf (TUR), mientras que en Palo Seco la comunidad está dominada por *E. tribuloides* y *L. williamsi* relacionadas con macroalgas (MAC), materia orgánica (MOR), arena (ARE) y filamentos de cianobacterias (FIL) (figura 3).



**Figura 2.** Abundancia relativa de los grupos morfofuncionales en los bancos sumergidos: Pantepec y Palo Seco, Veracruz.



**Figura 3.** Ordenación resultante del análisis de correlación canónica mostrando la distribución de las especies de erizos y los sitios de muestreo en correlación con los atributos del sustrato en los arrecifes Pantepec y Palo Seco, Veracruz. Dant (*D. antillarum*), Evir (*E. viridis*), Etri (*E. tribuloides*), Lwi (*L. williamsi*), Apun (*A. punctulata*), Lvar (*L. variegatus*). COR (cobertura coralina), COS (algas costrosas), PRO (profundidad), ROC (roca), TUR (algas turf), MAC (macroalgas), ORG (materia orgánica), ARE (arena) y FIL (filamentos de cianobacterias).

## DISCUSIÓN

La fauna de erizos regulares en los arrecifes Palo Seco y Pantepec tiene los mismos componentes que otros sistemas rocosos o coralinos del golfo de México Suroccidental (Solís-Marín *et al.*, 2007, 2014; Celaya-Hernández *et al.*, 2008; González-Gándara *et al.*, 2015; Morales-Quijano *et al.*, 2017); sin embargo, el número de especies observadas fue menor en el arrecife Pantepec, posiblemente porque, tanto la profundidad como la turbidez, limitan la penetración de luz e influyen en la estructura de las comunidades bentónicas (Birkeland, 1997).

A su vez, la riqueza de erizos regulares en las formaciones Palo Seco y Pantepec fue menor comparada con la reportada para los arrecifes emergidos, como: isla Verde (Celaya-Hernández *et al.*, 2008) en el centro de Veracruz o los arrecifes Lobos, Tuxpan, Enmedio y Tanhuijo en el norte (González-Gándara *et al.*, 2015; Morales-Quijano *et al.*, 2017). Esto podría explicarse por una baja conectividad entre los sistemas someros y los profundos; sin embargo, los erizos tienen una larva planctónica de larga duración, lo que podría potencialmente conectar poblaciones a larga distancia dependiendo de las corrientes dominantes y ocasionales (Rowley 1989, 1990; Lessios *et al.*, 2001, Grantham *et al.*, 2003). La alta diversidad de erizos en arrecifes emergidos tanto en el norte como en el sur de Veracruz, indica que es posible que la conectividad dentro del sistema sea alta y que los erizos sufran efectos post-reclutamiento dependiendo del hábitat (Palumbi, 2003). En este sentido, especies como *E. lucunter*, se adaptan a ambientes inestables donde la temperatura y la salinidad son variables (Hendler,

1977) y por eso, es común en zonas someras y expuestas al oleaje (McClanahan y Muthiga, 2013; Morales-Quijano *et al.*, 2017), como es el caso de las playas rocosas de Veracruz (Vargas-Hernández y Ramírez-Rodríguez, 2006) o los arrecifes coralinos emergidos (Chávez *et al.*, 1970; Celaya-Hernández *et al.*, 2008; Pérez-España *et al.*, 2015; González-Gándara *et al.*, 2015; Morales-Quijano *et al.*, 2017). El erizo *Tripneustes ventricosus* es también una especie que normalmente se asocia a áreas con pastos marinos (Hendler *et al.*, 1995; Lawrence y Agatsuma, 2013) y tampoco fue registrada en los bancos sumergidos investigados. La ausencia de especies que prefieren hábitats someros puede explicarse para Palo Seco y Pantepec, dado que estos arrecifes sumergidos tienen una profundidad que rebasa los 10 m. Además, la transparencia del agua en estos arrecifes es baja por su cercanía a la costa y a la descarga de ríos por lo que existe una escasa penetración de luz (Fabricius *et al.*, 2013, Jordán-Garza *et al.*, 2017).

Las condiciones de transparencia del agua son determinantes en los componentes bentónicos arrecifales, ya que existe una relación entre la profundidad fótica, el volumen de descarga de ríos y la distancia a la costa (Fabricius *et al.*, 2014). Los arrecifes Palo Seco y Pantepec están muy cerca de la costa y de la desembocadura de los ríos Coatzacoalcos y Tuxpan respectivamente. Dado el mayor volumen de descarga del primero ( $661.44 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en verano y  $462.37$  en otoño) con respecto al segundo ( $138.59 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en verano y  $44.54 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en otoño) (Salas-Pérez *et al.* 2015), se observó una mayor turbidez en el Palo Seco; sin embargo, la densidad de erizos es mayor en

este sistema, lo cual difiere de la idea general que refiere una disminución de los fotótrofos y un incremento del sustrato abiótico y los animales heterotróficos, cuando aumenta la turbidez (Birkeland, 1997). Por esto, una explicación a esos valores de densidad más altos en Palo Seco, es que, las especies de erizos se alimentan de otros organismos que forman parte del sustrato, como las esponjas y cnidarios ya que la mayoría no son estrictamente herbívoros (Steneck, 2013), o bien a que, los depredadores son escasos, entre los cuales destacan moluscos (*Cassia madagascariensis*); equinodermos (*Oreaster reticulatus*), crustáceos (*Panulirus argus*) y peces (*Haemulon macrostomum*) (Lawrence y Agatsuma, 2013; McClanahan y Muthiga, 2013; Muthiga y McClanahan, 2013; Watts *et al.*, 2013).

En general, a medida que aumenta la profundidad disminuye la abundancia de erizos (tabla 5). La profundidad promedio de Palo Seco (14.4 m) es menor que la del Pantepec (19.3 m) y la abundancia absoluta de erizos (45.69 individuos por censo) es mayor en el primero con respecto al segundo (15.98 individuos por censo). Las especies de erizos también muestran una relación con la profundidad, mientras *Echinometra viridis* fue dominante en Pantepec (78.38 % con relación al total), *Eucidaris tribuloides* fue la más abundante en Palo Seco (39.85 % con respecto al total). En particular, la abundancia de *D. antillarum*, se ha relacionado con la presencia de algas costrosas (Martin-Blanco *et al.*, 2011), o bien, a una estrategia de la especie para evitar zonas inestables (Tuya *et al.*, 2007). Otro caso, es el de *Arbacia punctulata* y *Lytechinus williamsi*, más abundantes en áreas someras (Palo Seco), pero pueden ocurrir hasta los 255 m, en sustratos rocosos, are-

nosos o con restos coralinos (Gianguzza y Bonnaviri, 2013) y al parecer la disponibilidad de alimento es clave en su distribución, dado que sus hábitos alimenticios suelen tener fuertes efectos en la biología de los erizos (Calva, 2002) cuyas dietas generalmente se determinan en gran medida por lo que se encuentra disponible en el medio (Birkeland, 1989).

Los contrastes en la densidad de erizos entre Palo Seco (0.91 ind/m<sup>2</sup>) y Pantepec (0.22 ind/m<sup>2</sup>) resultan de al menos dos factores ambientales, por un lado, la profundidad (Nordarse, 2001), ya que se nota una tendencia a reducir la densidad a medida que aquella incrementa (tabla 5) y este factor es determinante de acuerdo al análisis CCA. Por otra parte, la turbidez, provocada por el acarreo de terrígenos debido al flujo de los ríos Tuxpan y Coatzacoalcos, que bañan los sistemas Pantepec y Palo Seco respectivamente. Además, la disponibilidad de materia orgánica, de sustrato para el asentamiento, de alimento para los erizos (Hendler *et al.*, 1995), así como las condiciones de salinidad y temperatura que probablemente sean variables por la cercanía de los arrecifes a la costa y a la desembocadura de los ríos citados (Pérez-Maqueo *et al.*, 2011; Fabricious *et al.*, 2014).

El sustrato bentónico arrecifal de las formaciones Palo Seco y Pantepec, caracterizado por roca coralina y roca cubierta de algas turf es parecido en general, pero las condiciones generadas por el drenaje de los ríos Coatzacoalcos y Tuxpan son determinantes en su estructura, particularmente porque el arrastre de terrígenos es mayor en el primero (Salas-Pérez *et al.*, 2015). La alta proporción de esponjas, macroalgas y algas filamentosas en Palo Seco parecen relacionarse con la disponibilidad de nutrientes que es mayor en el sur.

En contraste, un mayor porcentaje de arena y algas costrosas observadas en Pantepec pueden indicar menor impacto del río Tuxpan. Las condiciones del sustrato son muy importantes para el establecimiento de los erizos, destacando, la cobertura de algas costrosas (Martín-Blanco *et al.*, 2011), macroalgas (Monroy-López y Solano, 2005) y la cobertura coralina (Idjadi *et al.*, 2010), entre otros.

El papel ecológico que representa la comunidad de erizos es fundamental en la estructura y funcionamiento de los arrecifes coralinos (Hendler *et al.*, 1995), dado que participan en el proceso de bioerosión durante el raspado de algas adheridas al sustrato (Glynn, 2015) u

otros organismos, como las esponjas (Santos *et al.*, 2002) y, de esta forma, controlan las poblaciones de algas (Idjadi *et al.*, 2010; Jessen y Wild, 2013) que compiten por sustrato con los corales, limitando el cambio de fase (Hughes *et al.*, 2007; Graham *et al.*, 2013) que se ha convertido en uno de los paradigmas actuales. Las comunidades de erizos de los bancos sumergidos Palo Seco y Pantepec muestran diferencias en la riqueza, pero especialmente en la abundancia, lo cual parece resultar de los contrastes en la profundidad, la turbidez y de los grupos morfofuncionales que caracterizan al sustrato de estos ecosistemas.

## CONCLUSIONES

Las comunidades de erizos regulares en los arrecifes Pantepec y Palo Seco están formadas por seis especies y su abundancia se relaciona fundamentalmente con la profundidad. La comunidad de erizos del arrecife Palo Seco

es más rica y con mayor abundancia comparada con la del Pantepec, estas diferencias se pueden relacionar con los componentes del sustrato, especialmente con la presencia de esponjas, macroalgas y algas turf.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo del PRODEP-SEP a través del proyecto “Bases para el Análisis y Síntesis de los Sistemas Costeros de Veracruz”, realizado en el marco de la “Red para el Análisis

y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana, Golfo de México”. Asimismo a Josselin Guadalupe Martínez López por la elaboración del mapa.

## LITERATURA CITADA

- Birkeland, C., 1989. The influence of echinoderms on coral-reef communities. pp. 1-79. En: M. Jangoux & J. M. Lawrence (eds.) *Echinoderm Studies*, Vol 3. AA Balkema. 383 pp.
- Birkeland, C., 1997. *Life and Death of Coral Reefs*. Chapman & Hall. USA. 536 pp.
- Birkeland, C., 2015. *Coral Reefs in the Anthropocene*. Springer Verlag. USA. 300 pp.
- Calva, L. G., 2002. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos. Parte 2. Erizos de Mar y Pepinos de Mar. *ContactoS*, 47:54-63.
- Capetillo, N., A. Lopeztegu, A. Betanzos & R. Hernández, 2011. Variabilidad espacial y temporal de la abundancia del erizo de mar *Lytichinus variegatus* (Lamarck, 1816) en el Golfo de Batabanó, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 28(2):52-58.
- Carricart-Ganivet, J.P. 2004. Sea surface temperature and the growth of the West Atlantic reef-building coral *Montastraea annularis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 302:249-260.
- Celaya-Hernández, E.V., F. Solís-Marín, A. Laguarda-Figueras, A. Durán-González & T. Ruiz-Rodríguez, 2008. Asociación a sustratos de los erizos regulares (Echinodermata: Echinoidea) en la laguna arrecifal de isla Verde, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, (Supl.3):281-295.
- Chávez, E., E. Hidalgo & M.L. Sevilla, 1970. Datos acerca de las comunidades bentónicas del arrecife Lobos, Veracruz. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 31:211-280.
- Fabricius K.E., G. De'ath, T. Cooper, C. Humphrey, I. Zorogakis & B. Schaffelke, 2013. Intra-annual variation in turbidity in response to terrestrial runoff at near coral reefs of the Great Barrier Reef. *Estuarine and Coastal Shelf Science*, 116:57-85.
- Fabricius K.E., M. Logan, S. Weeks & J. Brodie, 2014. The effects of river run-off on water clarity across the central Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin*, 84:191-200.
- Gianguzza, P. & C. Bonaviri, 2013. *Arbacia*. pp. 275-284. En: J.M. Lawrence (ed.). *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Elsevier. 531 pp.
- Glynn, P.W., 2015. Bioerosion and Coral Reef Growth: A Dynamic Balance. pp. 69-98. En: C. Birkeland (ed.) *Coral Reefs in the Anthropocene*. Springer. 300 pp.
- González-Gándara, C., F. Solís-Marín, V. de la Cruz-Francisco, A. Granados-Barba, J. Salas-Pérez, J. Argüelles-Jiménez & P. Escárcega-Quiroga, 2015. Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes del norte y sur de Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 63(2):183-193.
- Graham, N.J., D.R. Bellwood, J.E. Cinner, T.P. Hughes, A.V. Norström & M. Nyström, 2013. Managing resilience to reverse phase shifts in coral reefs. *Frontiers in the Ecology and the Environment*, 11(10):541-548.
- Grantham, B., G.L. Eckert & A.L. Shanks. 2003. Dispersal potential of marine invertebrates in diverse habitats. *Ecological Applications*, 13:S108-S116.
- Hammer, Ø., D.T. Harper & P.D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaentologia Electronica*. 4(1):1-9.
- Hendler, G., 1977. The differential effects of seasonal stress and predation on the stability of reef-flat echinoid populations. pp. 217-224. En: D.L. Taylor (ed.) *Proceedings of Third International Coral Reef Symposium* Vol. 1: Biology. Rosenstiel School of Marine & Atmospheric Science. 561 pp.
- Hendler, G., J. Miller, D. Pawson & P. Kier, 1995. *Sea Stars, Sea Urchins and Allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean*. Washington Smithsonian Institution Press. 390 pp.

- Hughes, T.P., M.J. Rodrigues, D.R. Bellwood, D. Ceccarelli, O. Hoegh-Guldberg, L. McCook, N. Moltschanivskyj, M. Pratchett, R. Steneck & B. Willis, 2007. Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. *Current Biology*, 17:360-365.
- Idjadi J.A., R.N. Haring & W.F. Precht. 2010. Recovery of the sea urchin *Diadema antillarum* promotes scleractinian coral growth and survivorship on shallow Jamaican reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 403:91-100.
- Jessen, C. & C. Wild. 2013. Herbivory effects on the benthic algal composition and growth on a coral reef flat in the Egyptian Red Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 476: 9-21.
- Jordán-Garza, A.G., C. González-Gándara, J. Salas-Pérez & A.M. Morales-Barragán, 2017. Coral assemblages are structured along a turbidity gradient on the Southwestern Gulf of Mexico, Veracruz. *Continental Shelf Research*, 138:32-40.
- Kohler, K.E. & S.M. Gill, 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*, 32(9):1259-1269.
- Lawrence, J.M. & Y. Agatsuma. 2013. *Tripneustes*. pp. 491-507. En: J.M. Lawrence (ed.). *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Developments in Aquaculture & Fisheries Science. Elsevier. 531 pp.
- Lebrato, M., D. Iglesias-Rodríguez, R.A. Feely, D. Greeley, D.O. Jones, N. Suarez-Bosche & B. Alker. 2010. Global contribution of echinoderms to the marine carbon cycle; CaCO<sub>3</sub> budget and benthic compartments. *Ecological Monographs*, 80(3):441-467.
- Lessios H.A., B.D. Kessing & J.S. Pearse, 2001. Population structure and speciation in tropical seas: global phylogeography of the sea urchin *Diadema*. *Evolution*, 55:955-975.
- Martín-Blanco, F. L. Clero-Alonso, G. González-Sansón & F. Pina-Amargós, 2011. Influence of *Diadema antillarum* populations (Echinodermata: Diadematidae) on algal community structure in Jardines de la Reina, Cuba. *Revista de Biología Tropical*, 59(Supl.3):1149-1163.
- McClanahan, T. R. & N. A. Muthiga. 2013. *Echinometra*. pp. 337-354. En: J.M. Lawrence (ed.). *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Elsevier. 531 pp.
- Monroy-López M. & D.O. Solano, 2005. Estado poblacional de *Echinometra lucunter* (Echinoidea: Echinometridae) y su fauna acompañante en el litoral rocoso del Caribe Colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 53(Supl.3):291-297.
- Morales-Quijano, I., V. de la Cruz-Francisco. M. González-González & J. Argüelles-Jiménez, 2017. Diversidad y abundancia de los equinodermos y su relación con la cobertura bentónica del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México. *Revista de Investigaciones Marinas y Costeras*, 9(2):51-74.
- Muthiga, N. A. & T. R. McClanahan. 2013. *Diadema*. pp. 257-274. En: J. M. Lawrence (ed.). *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Elsevier. 531 pp.
- Nordarse, K.A. 2001. Abundancia y distribución del erizo *Echinometra lucunter* (Linnaeus) (echinodermata, echinoidea) en un arrecife del litoral norte de ciudad de la Habana. *Revista de Investigaciones Marinas*, 22(2):107-115.
- Ortiz-Lozano, L., C. Colmenares-Campos & A. Gutiérrez-Velázquez. 2018. Submerged Coral Reefs in the Veracruz Reef System, Mexico, and its implications for marine protected area management. *Ocean & Coastal Management*, 158:11-23.
- Palumbi, S. R. 2003. Population genetics, demographic connectivity, and the design of marine reserves. *Ecological Applications*, 13(1):146-158.
- Pérez-España, H., P. Ávila-Gutiérrez, S. Melo-Merino, P. Berumen-Solórzano & R. Flores-Arévalo, 2015. Patrones interanuales e interarrecifales de las comunidades de peces,

- corales y equinodermos en el Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 159-180. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 pp.
- Pérez-Maqueo, O., L. Muñoz-Villiers, G. Vázquez, E.Z. Equihua & R.P. León, 2011. Hidrología. pp. 289-292. En A. Cruz-Angón (ed.). *La Biodiversidad en Veracruz Estudio de Estado México*: Vol. I. CONABIO, Gobierno de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología. 541 pp.
- Rowley, R.J., 1989. Settlement and recruitment of sea urchins (*Strongylocentrotus* spp.) in a sea urchin barren ground and a kelp bed: are populations regulated by settlement or post settlement processes? *Marine Biology*, 100:485-494.
- Rowley R.J., 1990. Newly settled sea urchins in a kelp bed and urchin barren ground: a comparison of growth and mortality. *Marine Ecology Progress Series*, 62:229-240.
- Salas-Pérez, J.J., A. Ocaña-Valencia & C. González-Gándara, 2015. Temperatura superficial del mar y concentración de Clorofila-a en zonas arrecifales y desembocadura de sus ríos en el golfo de México Occidental. pp. 315-332. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano. Hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México*. EPOMEX Serie Científica 5, Universidad Autónoma de Campeche. 366 pp.
- Sheppard, C., S. Davy & G. Pilling, 2009. *The biology of coral reefs*. Oxford University Press. Reino Unido. 339 pp.
- Solís-Marín, F., A. Laguarda-Figueras & A. Gordillo-Hernández, 2007. Estudio taxonómico de los equinodermos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 73-100. En: A. Granados-Barba, L.G. Abarca-Arenas & J.M. Vargas-Hernández (eds.). *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Univ. Autónoma de Campeche. 304 pp.
- Solís-Marín, F., A. Laguarda-Figueras & M. Honey-Escandón, 2014. Biodiversity of Echinoderms (Echinodermata) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85:441-449.
- Sorokin, Y.I., 1995. *Coral reef ecology*. Springer Verlag. Alemania. 465 pp.
- Steneck, R.S., 2013. Sea Urchins as Drivers of Shallow Benthic Marine Community Structure. pp. 195-212. En: J.M. Lawrence (ed.). *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Elsevier. 531 pp.
- Tuya, F., J. Cisneros-Aguirre, L. Ortega-Borges & R.J. Haroun, 2007. Bathymetric segregation of sea urchins on reefs of the Canarian Archipelago: role of flow induces forces. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73:481-488.
- Vargas-Hernández, J.M. & A. Ramírez-Rodríguez. 2006. Los arrecifes rocosos. pp. 381-403. En: P. Moreno-Casasola (ed.). *Entornos veracruzanos: La costa de La Mancha*. Instituto de Ecología, A. C. 575 pp.
- Watts, S.A., A.L. Lawrence & J.M. Lawrence, 2013. Nutrition. pp. 155-170. En: J. M. Lawrence. (ed.). *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. Elsevier. 531 pp.

Hermoso-Salazar, M., K. Arvizu-Coyotzi y M. Ayón-Parente, 2019. Riqueza de Especies de Crustáceos Malacostracos de los Sistemas Arrecifales Lobos-Tuxpan y Veracruzano, p. 113-138. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Riqueza de Especies de Crustáceos Malacostracos de los Sistemas Arrecifales Lobos-Tuxpan y Veracruzano

*M. Hermoso-Salazar*<sup>1\*</sup>, *K. Arvizu-Coyotzi*<sup>2</sup> y *M. Ayón-Parente*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, UNAM

<sup>2</sup>Posgrado Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana.

<sup>3</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara

\*hsam41@hotmail.com

## RESUMEN

En este estudio, se elaboró una lista de especies de crustáceos malacostracos procedente de registros en la literatura sobre la fauna del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) a partir de una búsqueda exhaustiva de la información que existe de los crustáceos malacostracos. El inventario aquí expuesto consta de 356 especies y tres subespecies repartidas en 103 familias de tres subclases: Phyllocarida (una especie), Hoplocarida (11 especies) y Eumalacostraca (344 especies). Con este estudio se proporciona el primer inventario de crustáceos malacostracos para el SALT, mientras para el SAV el inventario faunístico se enriqueció con 42 especies a partir de lo registrado en la actualización previa sobre los crustáceos del SAV. La riqueza específica entre los dos sistemas arrecifales fue contrastante, el SALT alberga 181 y el SAV 293 especies y subespecies de crustáceos malacostracos. Las compilaciones faunísticas son útiles como una fuente de referencia para dirigir los esfuerzos de investigación en los grupos biológicos menos conocidos en ecosistemas de suma importancia como los arrecifes coralinos.

**Palabras clave:** crustáceos malacostracos, corredor arrecifal, Veracruz.

## ABSTRACT

In this study, a list of Malacostraca crustacean species from the Lobos-Tuxpan Reef System (SALT) and the Veracruz Reef System (SAV) was prepared based on an exhaustive search in the literature. This inventory consists of 356 species and three subspecies, spread over 103 families of three subclasses: Phyllocarida (one species), Hoplocarida (11 species) and Eumalacostraca (344 species). This study provides the first inventory of Malacostraca for the SALT, while for the SAV the inventory was incremented with 42 species from the previous records about the SAV crustaceans. The species richness for two reef systems was very contrasting: the SALT hosts 181 and the SAV 293 species and subspecies of Malacostraca. Fauna compilations are useful as a reference source to drive research efforts to the less-known biological groups in ecosystems as important as coral reefs.

**Keywords:** Malacostraca crustaceans, Reef corridor, Veracruz.

## INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos son formaciones particularmente biodiversas; comúnmente se desarrollan en la cercanía de las regiones costeras, por lo que son susceptibles a las actividades antropogénicas. En la costa oeste del océano Atlántico se ubican arrecifes coralinos de suma importancia por su extensión, en el mar Caribe el Sistema Arrecifal Mesoamericano, considerado como la segunda barrera arrecifal más grande del mundo (Sarukhán *et al.*, 2009), y al interior del golfo, el Corredor Ecológico del Suroeste del Golfo de México (CASGM), conformado por el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, el Sistema Arrecifal Veracruzano y el Sistema Arrecifal de Los Tuxtlas mas una serie de arrecifes intermedios entre ellos (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

La zona costera de México representa un pilar para su desarrollo económico; desafortunadamente, el deterioro ambiental se incrementa cada día, con la consecuente pérdida de hábitats naturales y de la biodiversidad. Actualmente, los sistemas arrecifales del suroeste del golfo de México son de los ecosistemas marinos amenazados por ser considerados de los más frágiles y vulnerables ante los impactos de los fenómenos naturales y de

origen antropogénico (Sarukhán *et al.*, 2009; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013; 2018). Todas estas condiciones se reflejan en la composición específica de las comunidades y en la estructura de sus poblaciones, y los crustáceos no son una excepción. Por ello, el objetivo de este trabajo es actualizar el inventario de los crustáceos malacostracos para poder evaluar la riqueza de especies registrada en dos de los sistemas arrecifales del CASGM: el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan y el Sistema Arrecifal Veracruzano. Con lo anterior, se aportan elementos que contribuyen a orientar los esfuerzos de investigación en las zonas o en los grupos de crustáceos menos estudiados, incluso, para ser considerados en las prioridades de las decisiones de conservación, protección y manejo de los arrecifes coralinos de Veracruz.

Los crustáceos se encuentran entre los componentes más importantes de los ecosistemas marinos; se catalogan como parte de la criptofauna más abundante y con gran riqueza específica en los arrecifes coralinos. Los primeros registros de crustáceos del estado de Veracruz probablemente fueron proporcionados por Miers (1880), quien mencionó tres especies de cangrejos braquiuros recolectados por P.

Geddes en Vera Cruz; Ives (1891) registró siete especies de decápodos. Posteriormente, Richardson (1901) enlistó dos especies de isópodos de San Juan de Ulúa, Veracruz. Trabajos posteriores consideraron diferentes estudios de crustáceos marinos en el estado, tanto del orden Decapoda, como de varios órdenes del superorden Peracarida (Hermoso-Salazar

y Arvizu-Coyotzi, 2007; 2015). Las contribuciones sobre camarones y cangrejos no han sido objeto de estudios en la última década, el interés se ha inclinado hacia los crustáceos peracáridos, estomatópodos y sobre una especie de camarón de la familia Luciferidae (Cházaro-Olvera *et al.*, 2017, 2018a,b).

## MÉTODO

La lista de especies elaborada para las áreas naturales protegidas Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) fue producto de la revisión exhaustiva de bibliografía especializada con la finalidad de analizar y actualizar el estado taxonómico de las especies, e incorporar registros nuevos a las listas elaboradas previamente por Hermoso-Salazar y Arvizu-Coyotzi (2007, 2015); asimismo, se incluyó la información de Arenas-Fuentes y Hernández-Aguilera (2000), Álvarez-Noguera (2007) y Winfield (2013). Es importante aclarar que se consideraron sólo especies nominales

mencionadas en la bibliografía. Para la elaboración del listado se tomaron en cuenta publicaciones científicas, reportes de proyectos de investigación y tesis de licenciatura y posgrado, tanto nacional como internacional.

La estructura de la clasificación de los crustáceos de filo a familia se construyó principalmente de acuerdo con las propuestas de Broyer *et al.* (2007), Zeidler y de Broyer (2009), Ah Yong *et al.* (2011), Sakai y Türkay (2014), de Grave *et al.* (2014; 2015), Windsor y Felder (2014; 2017), Anderson (2017) y Lowry y Myers (2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La carcinofauna arrecifal de los sistemas arrecifales de Lobos-Tuxpan (SALT) y del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) está representada por 356 especies: una especie de la subclase Phyllocarida, 11 de Hoplocarida y 344 (más tres subespecies) de Eumalacostraca, repartidas en siete órdenes: Leptostraca, Stomatopoda, Amphipoda, Cumacea, Isopoda, Tanaidacea y Decapoda, ubicadas en 103 familias (tabla 1). Dentro de los Eumal-

acostraca, los decápodos destacaron con 238 especies y subespecies entre los dos sistemas arrecifales, seguidos por el superorden Peracarida, con 109 especies. La riqueza específica de malacostracos entre los dos sistemas arrecifales fue contrastante, en el SALT se registraron 181 especies y subespecies, y en el SAV se han reconocido 293 especies y subespecies (tabla 2).

**Tabla 1.** Comparación de la riqueza de especies por orden entre el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
Clase Malacostraca		
Subclase Phyllocarida		
<b>Orden Leptostraca</b>	0	1
Subclase Hoplocarida		
<b>Orden Stomatopoda</b>	6	10
Subclase Eumalacostraca		
Superorden Peracarida		
<b>Orden Amphipoda</b>	2	49
<b>Orden Cumacea</b>	0	1
<b>Orden Isopoda</b>	26	12
<b>Orden Tanaidacea</b>	10	22
Superorden Eucarida		
<b>Orden Decapoda</b>	137	198
<b>Total de especies</b>	<b>181</b>	<b>293</b>

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
Clase Malacostraca		
Subclase Phyllocarida		
Orden Leptostraca		
Familia Nebaliidae		
<i>Nebalia villalobosi</i> Ortiz <i>et al.</i> , 2011		x
Subclase Hoplocarida		
Orden Stomatopoda		
Superfamilia Gonodactyloidea		
Familia Gonodactylidae		
<i>Neogonodactylus bredini</i> (Manning, 1969)	x	x
<i>Neogonodactylus oerstedii</i> (Hansen, 1895)	x	x
<i>Neogonodactylus torus</i> (Manning, 1969)	x	x
<i>Neogonodactylus wenneerae</i> Manning & Heard, 1997		x
Familia Pseudosquillidae		
<i>Pseudosquilla ciliata</i> (Fabricius, 1787)	x	x

<b>Tabla 2.</b> Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).		
<b>Taxón</b>	<b>SALT</b>	<b>SAV</b>
<b>Superfamilia Lysiosquilloidea</b>		
<b>Familia Lysiosquillidae</b>		
<i>Lysiosquilla scabricauda</i> (Lamarck, 1818)		x
<i>Lysiosquillina glabriuscula</i> (Lamarck, 1818)		x
<b>Familia Nannosquillidae</b>		
<i>Bigelowina biminiensis</i> (Bigelow, 1893)		x
<b>Superfamilia Squilloidea</b>		
<b>Familia Squillidae</b>		
<i>Alima neptuni</i> (Linnaeus, 1768)		x
<i>Squilla chydæa</i> Manning, 1962	x	
<i>Squilla empusa</i> Say, 1818	x	x
<b>Subclase Eumalacostraca</b>		
<b>Superorden Peracarida</b>		
<b>Orden Amphipoda</b>		
<b>Suborden Colomastigidea</b>		
<b>Infraorden Colomastigida</b>		
<b>Parvorden Colomastigidira</b>		
<b>Superfamilia Colomastigoidea</b>		
<b>Familia Colomastigidae</b>		
<i>Colomastix escobarae</i> Winfield & Ortiz, 2010		x
<i>Colomastix balichondriae</i> Bousfield, 1973		x
<i>Colomastix irciniae</i> LeCroy, 1995		x
<i>Colomastix sarae</i> Winfield & Ortiz, 2010		x
<i>Colomastix tridentata</i> LeCroy, 1995		x
<b>Suborden Senticaudata</b>		
<b>Infraorden Corophiida</b>		
<b>Parvorden Corophiidira</b>		
<b>Superfamilia Aoroidea</b>		
<b>Familia Aoridae</b>		
<i>Bemlos unicornis</i> (Bynum & Fox, 1977)		x
<i>Grandidierella bonnieroides</i> Stephensen, 1947		x
<i>Lembos unifasciatus unifasciatus</i> Myers, 1977		x
<i>Plesiolembos rectangulatus</i> (Myers, 1977)		x
<b>Familia Unciolidae</b>		
<i>Unciola irrorata</i> Say, 1818		x

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
<b>Superfamilia Corophioidea</b>		
<b>Familia Ampithoidae</b>		
<i>Ampithoe longimana</i> Smith, 1873		x
<i>Ampithoe ramondi</i> Audouin, 1826		x
<i>Ampithoe rubricata</i> (Montagu, 1818)		x
<i>Cymadusa compta</i> (Smith, 1873)		x
<b>Familia Corophiidae</b>		
<i>Americorophium ellisi</i> (Shoemaker, 1943)		x
<i>Apocorophium acutum</i> (Chevreux, 1908)		x
<i>Apocorophium simile</i> (Shoemaker, 1934)		x
<b>Parvorden Caprellidira</b>		
<b>Superfamilia Caprelloidea</b>		
<b>Familia Caprellidae</b>		
<i>Metaprotella hummelincki</i> McCain, 1968		x
<i>Paracaprella guerragarciai</i> Winfield & Ortiz, 2013	x	
<i>Phtisica marina</i> Slabber, 1769		x
<b>Familia Podoceridae</b>		
<i>Podocerus brasiliensis</i> (Dana, 1853)		x
<i>Podocerus kleidus</i> Thomas & J.L. Barnard, 1992		x
Superfamilia Photoidea		
<b>Familia Ischyroceridae</b>		
<i>Erichthonius brasiliensis</i> (Dana, 1853)		x
<b>Familia Photidae</b>		
<i>Latigammaropsis atlantica</i> (Stebbing, 1888)		x
<i>Photis macromana</i> McKinney et al., 1978		x
<i>Photis pugnator</i> Shoemaker, 1945		x
<b>Infraorden Hadziida</b>		
<b>Parvorden Hadziidira</b>		
<b>Superfamilia Hadzioidea</b>		
<b>Familia Maeridae</b>		
<i>Elasmopus levis</i> (Smith, 1873)		x
<i>Elasmopus pocillimanus</i> (Spence-Bate, 1862)		x
<i>Quadrimeaera pacifica</i> (Schellenberg, 1938)		x
<i>Quadrimeaera quadrimana</i> (Dana, 1853)		x

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
<b>Superfamilia Calliopoidea</b>		
<b>Familia Pontogeneiidae</b>		
<i>Eusiroides yucatanensis</i> McKinney, 1980		x
<b>Infraorden Gammarida</b>		
<b>Parvorden Gammaridira</b>		
<b>Superfamilia Gammaroidea</b>		
<b>Familia Gammaridae</b>		
<i>Gammarus palustris</i> Bousfield, 1969		x
<b>Suborden Amphilochidea</b>		
<b>Infraorden Amphilochida</b>		
<b>Parvorden Eusiridira</b>		
<b>Superfamilia Eusiroidea</b>		
<b>Familia Bateidae</b>		
<i>Batea carinata</i> (Shoemaker, 1926)		x
<b>Parvorden Amphilochidira</b>		
<b>Superfamilia Amphilochidea</b>		
<b>Familia Amphilochidae</b>		
<i>Apolochus delacaya</i> (McKinney, 1978)	x	
<i>Hourstonius tortugae</i> (Shoemaker, 1933)		x
<b>Familia Sebidae</b>		
<i>Seba alvarezii</i> Winfield, Ortiz & Cházaro-Olvera, 2009		x
<b>Familia Stenothoidae</b>		
<i>Stenothoe gallensis</i> Walker, 1904		x
<b>Superfamilia Leucothoidea</b>		
<b>Familia Leucothoidae</b>		
<i>Leucothoe hendrickxi</i> Winfield & Álvarez, 2009		x
<i>Leucothoe hortapugai</i> Winfield, Ortiz & Cházaro-Olvera, 2009		x
<i>Leucothoe ortizi</i> Winfield & Álvarez, 2009		x
<i>Leucothoe spinicarpa</i> (Abildgaard, 1789)		x
<b>Infraorden Lysianassida</b>		
<b>Parvorder Synopiidira</b>		
<b>Superfamilia Synopioidea</b>		
<b>Familia Ampeliscidae</b>		
<i>Ampelisca burkei</i> J.L. Barnard & Thomas, 1989		x
<i>Ampelisca lobata</i> Holmes, 1908		x
<i>Ampelisca schellenbergi</i> Shoemaker, 1933		x

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
<i>Ampelisca verrilli</i> Mills, 1967		x
<b>Parvorden Haustoriidira</b>		
<b>Superfamilia Haustorioidea</b>		
<b>Familia Haustoriidae</b>		
<i>Parahaustorius attenuatus</i> Bousfield, 1965		x
<b>Parvorder Lysianassidira</b>		
<b>Superfamilia Lysianassoidea</b>		
<b>Familia Lysianassidae</b>		
<i>Concarnes concavus</i> (Shoemaker, 1933)		x
<i>Lysianopsis adela</i> Winfield & Ortiz, 2009		x
<i>Lysianopsis alba</i> Holmes, 1905		x
<i>Shoemakerella cubensis</i> (Stebbing, 1897)		x
<b>Superfamilia Aristioidea</b>		
<b>Familia Endeavouridae</b>		
<i>Ensayara lozanoi</i> Winfield & Ortiz, 2012		x
<b>Orden Cumacea</b>		
<b>Familia Nannastacidae</b>		
<i>Cumella meridithi</i> Bacescu, 1971		x
<b>Orden Isopoda</b>		
<b>Familia Idoteidae</b>		
<i>Idotea metallica</i> Bosc, 1802		x
<b>Familia Ligiidae</b>		
<i>Ligia baudiniana</i> H. Milne-Edwards, 1840		x
<i>Ligia exotica</i> Roux, 1828		x
<b>Superfamilia Anthuroidea</b>		
<b>Familia Antheluridae</b>		
<i>Anthomuda affinis</i> (Richardson, 1902)	x	
<b>Familia Anthuridae</b>		
<i>Amakusanthura geminsula</i> (Kensley, 1982)	x	
<i>Mesanthura bivittata</i> Kensley, 1987	x	
<i>Mesanthura fasciata</i> Kensley, 1982	x	
<i>Pendantthura hendleri</i> Kensley, 1984	x	
<i>Pendantthura tanaiformis</i> Menzies & Glynn, 1968	x	
<b>Familia Paranthuridae</b>		
<i>Paranthura antillensis</i> Barnard, 1925	x	

<b>Tabla 2.</b> Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).			
	<b>Taxón</b>	<b>SALT</b>	<b>SAV</b>
<b>Superfamilia Cirolanoidea</b>			
<b>Familia Cirolanidae</b>			
	<i>Cirolana parva</i> Hansen, 1890		x
	<i>Excirolana mayana</i> (Ives, 1891)		x
	<i>Natatolana gracilis</i> (Hansen, 1890)	x	x
	<i>Neocirolana obruncata</i> (Richardson 1901)	x	
<b>Superfamilia Cymothooidea</b>			
<b>Familia Corallanidae</b>			
	<i>Excorallana oculata</i> (Hansen, 1890)	x	x
	<i>Excorallana quadricornis</i> (Hansen, 1890)	x	
	<i>Excorallana tricornis tricornis</i> (Hansen, 1890)	x	
<b>Superfamilia Janiroidea</b>			
<b>Familia Janiridae</b>			
	<i>Carpas algicola</i> (Miller, 1941)	x	x
	<i>Carpas bermudensis</i> Richardson, 1902	x	
<b>Familia Joeropsididae</b>			
	<i>Joeropsis personatus</i> Kensley, 1984	x	
	<i>Joeropsis rathbunae</i> Richardson, 1902	x	
<b>Familia Munnidae</b>			
	<i>Uromunna reynoldsi</i> (Frankenberg & Menzies, 1966)	x	
<b>Superfamilia Limnorioidea</b>			
<b>Familia Limnoriidae</b>			
	<i>Limnoria insulae</i> Menzies, 1957	x	
	<i>Limnoria platycauda</i> Menzies, 1957	x	
	<i>Paralimnoria andrewsi</i> (Calman, 1910)	x	
<b>Superfamilia Sphaeromatoidea</b>			
<b>Familia Sphaeromatidae</b>			
	<i>Dynamene angulata</i> Richardson, 1901		x
	<i>Dynamenella perforata</i> (Moore, 1901).		x
	<i>Paracerceis caudata</i> (Say, 1818)	x	x
	<i>Sphaeroma terebrans</i> Bate, 1866	x	
<b>Superfamilia Stenetriidea</b>			
<b>Familia Stenetriidae</b>			
	<i>Hansenium stebbingi</i> (Richardson, 1902)	x	x
	<i>Machatrium spathulicarpus</i> (Kensley, 1984)	x	
	<i>Santia milleri</i> (Menzies & Glynn, 1968)	x	

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
<i>Stenetrium bowmani</i> Kensley, 1984	x	
<b>Orden Tanaidacea</b>		
<b>Superfamilia Apseudoidea</b>		
<b>Familia Apseudidae</b>		
<i>Apseudes orghidani</i> Gutu & Iliffe, 1989	x	
<i>Paradoxapseudes bermudeus</i> (Bacescu, 1980)	x	x
<b>Familia Kalliapseudidae</b>		
<i>Mesokalliapseudes bahamensis</i> (Sieg, 1982)		x
<i>Psammokalliapseudes granulatus</i> Brum, 1973		x
<b>Familia Metapseudidae</b>		
<i>Calozodion multispinosum</i> Gutu, 1984		x
<i>Calozodion wadei</i> Gardiner, 1973	x	x
<i>Hoploplemius propinquus</i> (Richardson, 1902)	x	x
<b>Superfamilia Paratanaoidea</b>		
<b>Familia Cryptocopidae</b>		
<i>Lungentitanais primitivus</i> Sieg, 1977	x	
<b>Familia Leptocheliidae</b>		
<i>Alloleptochelia longimana</i> (Shiino, 1963)	x	x
<i>Chondrochelia dubia</i> (Krøyer, 1842)	x	x
<i>Chondrochelia savignyi</i> (Krøyer, 1842)		x
<i>Leptochelia forresti</i> (Stebbing, 1896)	x	x
<i>Leptochelia rapax</i> Harger, 1879		x
<b>Familia Nototanaididae</b>		
<i>Nototanoides trifurcatus</i> Sieg & Heard, 1985	x	x
<b>Familia Pseudotanaididae</b>		
<i>Pseudotanais (Akanthinotanais) gerlachi</i> Sieg, 1977		x
<i>Pseudotanais (Akanthinotanais) malayensis</i> Sieg, 1977		x
<i>Pseudotanais (Akanthinotanais) mortenseni</i> Sieg, 1977		x
<i>Pseudotanais (Pseudotanais) mexikolpos</i> Sieg & Heard, 1988		x
<i>Pseudotanais (Pseudotanais) oculatus</i> Hansen, 1913		x
<b>Familia Tanaissuidae</b>		
<i>Tanaissus psammophilus</i> (Wallace, 1919)		x
<b>Superfamilia Paratanaoidea</b>		
<b>Familia Teleotanaididae</b>		
<i>Teleotanais gerlachi</i> Lang, 1956		x

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
<b>Superfamilia Tanaoidea</b>		
<b>Familia Tanaididae</b>		
<i>Sinelobus stanfordi</i> (Richardson, 1901)		x
<i>Zeuxo coralensis</i> Sieg, 1980		x
<i>Zeuxo kurilensis</i> (Kussakin & Tzareva, 1974)	x	x
<b>Suborden Eucarida</b>		
<b>Orden Decapoda</b>		
<b>Suborden Dendrobranchiata</b>		
<b>Superfamilia Penaeoidea</b>		
<b>Familia Penaeidae</b>		
<i>Farfantepenaeus aztecus</i> (Ives, 1891)	x	x
<i>Farfantepenaeus duorarum</i> (Burkenroad, 1939)		x
<i>Litopenaeus setiferus</i> (Linnaeus, 1767)	x	
<i>Metapenaeopsis goodei</i> (Smith, 1885)	x	x
<i>Metapenaeopsis smithi</i> (Schmitt, 1924)		x
<i>Rimapenaeus constrictus</i> (Stimpson, 1871)	x	
<i>Rimapenaeus similis</i> (Smith, 1885)		x
<i>Xiphopenaeus kroyeri</i> (Heller, 1862)	x	
<b>Familia Sicyoniidae</b>		
<i>Sicyonia brevirostris</i> Stimpson, 1871	x	
<i>Sicyonia burkenroadi</i> Cobb, 1971	x	
<i>Sicyonia dorsalis</i> Kingsley, 1878		x
<i>Sicyonia laevigata</i> Stimpson, 1871		x
<i>Sicyonia parri</i> (Burkenroad, 1934)	x	x
<i>Sicyonia typica</i> (Boeck, 1864)	x	x
<b>Superfamilia Sergestoidea</b>		
<b>Familia Luciferidae</b>		
<i>Belzebub faxoni</i> (Borradaile, 1915)		x
<b>Suborden Pleocyemata</b>		
<b>Infraorden Stenopodidea</b>		
<b>Familia Spongicolidae</b>		
<i>Microprosthema semilaeve</i> (von Martens, 1872)		x
<b>Familia Stenopodidae</b>		
<i>Stenopus hispidus</i> (Olivier, 1811)	x	x
<i>Stenopus scutellatus</i> Rankin, 1898	x	x

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
<b>Infraorden Caridea</b>		
<b>Superfamilia Alpheoidea</b>		
<b>Familia Alpheidae</b>		
<i>Alpheus amblyonyx</i> Chace, 1972	x	
<i>Alpheus armillatus</i> H. Milne-Edwards, 1837	x	x
<i>Alpheus bahamensis</i> Rankin, 1898	x	x
<i>Alpheus bouvieri</i> A. Milne-Edwards, 1878		x
<i>Alpheus cristulifrons</i> Rathbun, 1900	x	x
<i>Alpheus floridanus</i> Kingsley, 1878	x	x
<i>Alpheus formosus</i> Gibbes, 1850	x	x
<i>Alpheus heterochaelis</i> Say, 1818	x	
<i>Alpheus normanni</i> Kingsley, 1878	x	x
<i>Alpheus nuttingi</i> (Schmitt, 1924)		x
<i>Alpheus packardii</i> Kingsley, 1880	x	x
<i>Alpheus paracrinatus</i> Miers, 1881	x	x
<i>Alpheus peasei</i> (Armstrong, 1940)	x	x
<i>Alpheus thomasi</i> Hendrix & Gore, 1973		x
<i>Automate dolichognatha</i> De Man, 1888		x
<i>Leptalpheus forceps</i> Williams, 1965		x
<i>Salmoneus carvachoi</i> Anker, 2007		x
<i>Salmoneus ortmanni</i> (Rankin, 1898)		x
<i>Synalpheus agelas</i> Pequegnat & Heard, 1979		x
<i>Synalpheus anasimus</i> Chace, 1972		x
<i>Synalpheus brevicarpus</i> (Herrick, 1891)		x
<i>Synalpheus fritzmuelleri</i> Coutière, 1909	x	x
<i>Synalpheus longicarpus</i> (Herrick, 1891)		x
<i>Synalpheus mcclendoni</i> Coutière, 1910	x	x
<i>Synalpheus minus</i> (Say, 1818)	x	x
<i>Synalpheus pandionis</i> Coutière, 1909	x	x
<i>Synalpheus rathbumae</i> Coutière, 1909		x
<i>Synalpheus scaphoceris</i> Coutière, 1910		x
<i>Synalpheus townsendi</i> Coutière, 1909	x	x
<b>Familia Hippolytidae</b>		
<i>Hippolyte obliquimanus</i> Dana, 1852	x	x
<i>Latreutes fucorum</i> (Fabricius, 1798)	x	x
<i>Latreutes parvulus</i> (Stimpson, 1871)	x	

<b>Tabla 2.</b> Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).		
<b>Taxón</b>	<b>SALT</b>	<b>SAV</b>
<i>Tozeuma carolinense</i> Kingsley, 1878	x	x
<b>Familia Lysmatidae</b>		
<i>Lysmata intermedia</i> (Kingsley, 1878)	x	
<i>Lysmata moorei</i> (Rathbun, 1901)	x	
<i>Lysmata wurdemanni</i> (Gibbes, 1850)		x
<b>Familia Thoridae</b>		
<i>Thor dobkini</i> Chace, 1972		x
<i>Thor floridanus</i> Kingsley, 1878	x	x
<i>Thor manningi</i> Chace, 1972	x	x
<b>Superfamilia Nematocarcinoidea</b>		
<b>Familia Rhynchocinetidae</b>		
<i>Cinetorhynchus rigens</i> (Gordon, 1936)	x	
<b>Superfamilia Palaemonoidea</b>		
<b>Familia Palaemonidae</b>		
<i>Cuapetes americanus</i> (Kingsley, 1878)	x	x
<i>Brachycarpus biunguiculatus</i> (Lucas, 1846)	x	x
<i>Gnathophyllum americanum</i> Guérin-Méneville, 1855		x
<i>Gnathophyllum modestum</i> Hay, 1917		x
<i>Holthuisaeus bermudensis</i> (Armstrong, 1940)		x
<i>Leander tenuicornis</i> (Say, 1818)	x	x
<i>Macrobrachium acanthurus</i> (Wiegmann, 1836)		x
<i>Macrobrachium carcinus</i> (Linnaeus, 1758)	x	
<i>Periclimenaeus bredini</i> Chace, 1972		x
<i>Periclimenaeus chacei</i> Abele, 1971		x
<i>Periclimenaeus pearsei</i> (Schmitt, 1932)		x
<i>Periclimenaeus perlatus</i> (Boone, 1930)		x
<i>Periclimenaeus wilsoni</i> (Hay, 1917)		x
<i>Periclimenes iridescens</i> Lebour, 1949		x
<i>Periclimenes rathbunae</i> Schmitt, 1924	x	x
<i>Periclimenes yucatanicus</i> (Ives, 1891)		x
<i>Pontonia mexicana</i> Guérin-Méneville, 1855		x
<i>Tuleariocaris neglecta</i> Chace, 1969		x
<b>Superfamilia Processoidea</b>		
<b>Familia Processidae</b>		
<i>Nikoides schmitti</i> Manning & Chace, 1971		x
<i>Processa bermudensis</i> (Rankin, 1900)	x	x

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
<i>Processa fimbriata</i> Manning & Chace, 1971	x	x
<i>Processa wheeleri</i> Lebour, 1941		x
<b>Infraorden Achelata</b>		
<b>Superfamilia Palinuroidea</b>		
<b>Familia Palinuridae</b>		
<i>Palinurellus gundlachi</i> von Martens, 1878	x	
<i>Panulirus argus</i> (Latreille, 1804)	x	x
<i>Panulirus guttatus</i> (Latreille, 1804)		x
<b>Familia Scyllaridae</b>		
<i>Scyllarides nodifer</i> (Stimpson, 1866)	x	
<i>Scyllarus americanus</i> (Smith, 1869)	x	
<i>Scyllarus chacei</i> Holthuis, 1960		x
<b>Infraorden Callianassidea</b>		
<b>Superfamilia Callianassoidea</b>		
<b>Familia Callianassidae</b>		
<i>Cheramus marginatus</i> (Rathbun, 1901)		x
<i>Glypturus acanthochirus</i> Stimpson, 1866		x
<i>Neocallichirus grandimanus</i> (Gibbes, 1850)		x
<i>Trypaea fragilis</i> (Biffar, 1970)		x
<b>Infraorden Thalassinidea</b>		
<b>Superfamilia Thalassioidea</b>		
<b>Familia Upogebiidae</b>		
<i>Upogebia toralae</i> Williams & Hernández-Aguilera, 1998		x
<i>Upogebia vasquezzi</i> Ngoc-Ho, 1989		x
<b>Infraorden Anomura</b>		
<b>Superfamilia Galatheoidea</b>		
<b>Familia Porcellanidae</b>		
<i>Megalobrachium soriatum</i> (Say, 1818)		x
<i>Neopisosoma angustifrons</i> (Benedict, 1901)		x
<i>Pachycheles manilifer</i> (Dana, 1852)	x	x
<i>Petrolisthes armatus</i> (Gibbes, 1850)		x
<i>Petrolisthes caribensis</i> Werding, 1983		x
<i>Petrolisthes galathinus</i> (Bosc, 1802)	x	x
<i>Petrolisthes jugosus</i> Streets, 1872	x	x
<i>Petrolisthes marginatus</i> Stimpson, 1859	x	x
<i>Petrolisthes politus</i> (Gray, 1831)	x	x

<b>Tabla 2.</b> Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).		
<b>Taxón</b>	<b>SALT</b>	<b>SAV</b>
<i>Petrolisthes quadratus</i> Benedict, 1901	x	x
<i>Porcellana sayana</i> (Leach, 1820)	x	x
<i>Porcellana sigsbeiana</i> A. Milne-Edwards, 1880		x
<b>Superfamilia Hippoidea</b>		
<b>Familia Albuncidae</b>		
<i>Albunea paretii</i> Guérin-Méneville, 1853	x	
<i>Lepidopa benedicti</i> Schmitt, 1935	x	
<b>Familia Hippidae</b>		
<i>Emerita benedicti</i> Schmitt, 1935	x	
<i>Emerita talpoida</i> (Say, 1817)	x	
<b>Superfamilia Paguroidea</b>		
<b>Familia Coenobitidae</b>		
<i>Coenobita clypeatus</i> (Fabricius, 1787)	x	x
<b>Familia Diogenidae</b>		
<i>Calcinus tibicen</i> (Herbst, 1791)	x	x
<i>Clibanarius antillensis</i> Stimpson, 1859	x	x
<i>Clibanarius scolopetarius</i> (Herbst, 1796)	x	x
<i>Clibanarius tricolor</i> (Gibbes, 1850)		x
<i>Clibanarius vittatus</i> (Bosc, 1802)	x	x
<i>Dardanus fucosus</i> Biffar & Provenzano, 1972	x	x
<i>Dardanus insignis</i> (de Saussure, 1858)		x
<i>Isocheles wurdemanni</i> Stimpson, 1859	x	
<i>Paguristes sericeus</i> A. Milne-Edwards, 1880		x
<i>Paguristes spinipes</i> A. Milne-Edwards, 1880		x
<i>Petrochirus diogenes</i> (Linnaeus, 1758)	x	x
<b>Familia Paguridae</b>		
<i>Pagurus brevidactylus</i> (Stimpson, 1859)	x	x
<b>Infraorden Brachyura</b>		
<b>Sección Dromioidea</b>		
<b>Superfamilia Dorippoidea</b>		
<b>Familia Dromiidae</b>		
<i>Dromia erythropus</i> (George Edwards, 1771)	x	x
<i>Moreiradromia antillensis</i> (Stimpson, 1858)		x
<b>Familia Ethusidae</b>		
<i>Ethusa mascarone</i> (Herbst, 1785)		x
<i>Ethusa microphthalmia</i> Smith, 1881		x

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
<b>Sección Raninoidea</b>		
<b>Superfamilia Raninoidea</b>		
<b>Familia Raninidae</b>		
<i>Raninoides laevis</i> (Latreille, 1825)		x
<i>Symethis variolosa</i> (Fabricius, 1793)	x	
<b>Sección Eubrachyura</b>		
<b>Subsección Heterotremata</b>		
<b>Superfamilia Aethroidea</b>		
<b>Familia Aethridae</b>		
<i>Hepatus epheliticus</i> (Linnaeus, 1763)	x	
<i>Hepatus pudibundus</i> (Herbst, 1785)		x
<b>Superfamilia Calappoidea</b>		
<b>Familia Calappidae</b>		
<i>Calappa flammea</i> (Herbst, 1794)	x	x
<i>Calappa gallus</i> (Herbst, 1803)	x	x
<i>Calappa sulcata</i> Rathbun, 1898		x
<b>Superfamilia Eriphioidea</b>		
<b>Familia Eriphiidae</b>		
<i>Eriphia gonagra</i> (Fabricius, 1781)	x	x
<b>Familia Menippidae</b>		
<i>Menippe nodifrons</i> Stimpson, 1859		x
<b>Familia Oziidae</b>		
<i>Ozius reticulatus</i> (Desbonne, 1867)		x
<b>Superfamilia Leucosioidea</b>		
<b>Familia Leucosiidae</b>		
<i>Acanthilia intermedia</i> (Miers, 1886)		x
<i>Ebalia cariosa</i> (Stimpson, 1860)	x	x
<i>Ebalia stimpsoni</i> A. Milne-Edwards, 1880	x	x
<i>Iliacantha liodactylus</i> Rathbun, 1898		x
<i>Speloeophorus pontifer</i> (Stimpson, 1871)		x
<i>Ublias limbatus</i> Stimpson, 1871	x	x
<b>Superfamilia Majoidea</b>		
<b>Familia Epialtidae</b>		
<i>Acanthonyx petiverii</i> H. Milne-Edwards, 1834	x	x
<i>Libinia emarginata</i> Leach, 1815	x	
<i>Macrocoeloma camptocerum</i> (Stimpson, 1871)		x

<b>Tabla 2.</b> Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).		
<b>Taxón</b>	<b>SALT</b>	<b>SAV</b>
<i>Macrocoeloma diplacanthum</i> (Stimpson, 1860)	x	x
<i>Macrocoeloma nodipes</i> (Desbonne, 1867)	x	x
<i>Macrocoeloma trispinosum</i> (Latreille, 1825)		x
<i>Tyche emarginata</i> White, 1847		x
<b>Familia Inachidae</b>		
<i>Coryrhynchus sidneyi</i> (Rathbun, 1924)	x	
<b>Familia Inachoididae</b>		
<i>Stenorhynchus seticornis</i> (Herbst, 1788)	x	x
<b>Familia Mithracidae</b>		
<i>Amphithrax aculeatus</i> (Herbst, 1790)	x	x
<i>Mithraculus cinctimanus</i> Stimpson, 1860		x
<i>Mithraculus coryphe</i> (Herbst, 1801)	x	x
<i>Mithraculus forceps</i> A. Milne-Edwards, 1875	x	x
<i>Mithraculus sculptus</i> (Lamarck, 1818)	x	x
<i>Mithrax hispidus</i> (Herbst, 1790)	x	x
<i>Nemausa acuticornis</i> (Stimpson, 1871)	x	x
<i>Omalacantha bicornuta</i> (Latreille, 1825)	x	x
<i>Pitho aculeata</i> (Gibbes, 1850)	x	x
<i>Pitho anisodon</i> (von Martens, 1872)		x
<i>Pitho lberminieri</i> (Desbonne, 1867)	x	x
<i>Pitho mirabilis</i> (Herbst, 1794)		x
<i>Teleophrys ruber</i> (Stimpson, 1871)		x
<b>Superfamilia Pilumnoidea</b>		
<b>Familia Pilumnidae</b>		
<i>Pilumnus dasypodus</i> Kingsley, 1879	x	x
<i>Pilumnus gemmatus</i> Stimpson, 1860		x
<i>Pilumnus miersii</i> A. Milne Edwards, 1880	x	
<b>Superfamilia Portunoidea</b>		
<b>Familia Portunidae</b>		
<i>Achelous gibbesii</i> (Stimpson, 1859)		x
<i>Achelous ordwayi</i> Stimpson, 1860		x
<i>Achelous sebae</i> (H. Milne Edwards, 1834)		x
<i>Achelous spinicarpus</i> Stimpson, 1871	x	x
<i>Achelous spinimanus</i> (Latreille, 1819)	x	x
<i>Arenaenus cribrarius</i> (Lamarck, 1818)	x	x
<i>Callinectes bocourti</i> A. Milne-Edwards, 1879	x	

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

<b>Taxón</b>	<b>SALT</b>	<b>SAV</b>
<i>Callinectes danae</i> Smith, 1869	x	
<i>Callinectes marginatus</i> (A. Milne-Edwards, 1861)	x	x
<i>Callinectes rathbunae</i> Contreras, 1930	x	
<i>Callinectes sapidus</i> Rathbun, 1896		x
<i>Callinectes similis</i> Williams, 1966	x	x
<i>Cronius ruber</i> (Lamarck, 1818)	x	x
<i>Laleonectes vocans</i> (A. Milne-Edwards, 1878)	x	
<i>Portunus anceps</i> (de Saussure, 1858)		x
<i>Portunus sayi</i> (Gibbes, 1850)		x
<i>Portunus ventralis</i> (A. Milne-Edwards, 1879)	x	
<b>Superfamilia Trapezioidae</b>		
<b>Familia Domeciidae</b>		
<i>Domecia acanthophora</i> (Desbonne, 1867)	x	x
<i>Domecia hispida</i> Eydoux & Souleyet, 1842	x	x
<b>Superfamilia Xanthoidea</b>		
<b>Familia Panopeidae</b>		
<i>Acantholobulus bermudensis</i> (Benedict & Rathbun, 1891)		x
<i>Eucratopsis crassimana</i> (Dana, 1851)		x
<i>Eurypanopeus abbreviatus</i> (Stimpson, 1860)		x
<i>Hexapanopeus angustifrons</i> (Benedict & Rathbun, 1891)		x
<i>Hexapanopeus paulensis</i> Rathbun, 1930		x
<i>Panopeus harttii</i> Smith, 1869		x
<i>Panopeus herbstii</i> H. Milne-Edwards, 1834	x	x
<i>Panopeus lacustris</i> Desbonne, 1867		x
<i>Panopeus obesus</i> Smith, 1869		x
<i>Panopeus occidentalis</i> de Saussure, 1857		x
<i>Panopeus simpsoni</i> Rathbun, 1930		x
<b>Familia Pseudorhombilidae</b>		
<b>Trapezioplax tridentata</b> (A. Milne-Edwards, 1880)		x
<b>Familia Xanthidae</b>		
<i>Banareia palmeri</i> (Rathbun, 1894)		x
<i>Cataleptodius floridanus</i> (Gibbes, 1850)	x	x
<i>Etisus maculatus</i> (Stimpson, 1860)	x	x
<i>Garthiope spinipes</i> (A. Milne-Edwards, 1880)	x	
<i>Micropanope sculptipes</i> Stimpson, 1871		x
<i>Paractaea nodosa</i> (Stimpson, 1860)	x	x

<b>Tabla 2.</b> Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).		
<b>Taxón</b>	<b>SALT</b>	<b>SAV</b>
<i>Paraliomera dispar</i> (Stimpson, 1871)	x	x
<i>Paraliomera longimana</i> (A. Milne-Edwards, 1865)	x	x
<i>Platyactaea setigera</i> (H. Milne-Edwards, 1834)	x	x
<i>Platypodiella spectabilis</i> (Herbst, 1794)	x	x
<i>Ratha longimana</i> (H. Milne-Edwards, 1834)	x	x
<i>Williamstimpsonia denticulatus</i> (White, 1848)	x	x
<b>Subsección Thoracotremata</b>		
<b>Superfamilia Cryptochiroidea</b>		
<b>Familia Cryptochiridae</b>		
<i>Troglocarcinus corallicola</i> Verrill, 1908	x	x
<i>Opecarcinus hypostegus</i> (Shaw & Hopkins, 1977)		x
<b>Superfamilia Grapsoidea</b>		
<b>Familia Gecarcinidae</b>		
<i>Cardisoma guanhumii</i> Latreille, 1828	x	
<i>Gecarcinus lateralis</i> (Fréminville, 1835)	x	x
<i>Gecarcinus ruricola</i> (Linnaeus, 1758)	x	
<b>Familia Grapsidae</b>		
<i>Geograpsus lividus</i> (H. Milne-Edwards, 1837)	x	x
<i>Goniopsis cruentata</i> (Latreille, 1803)	x	x
<i>Grapsus grapsus</i> (Linnaeus, 1758)	x	x
<i>Pachygrapsus gracilis</i> (de Saussure, 1858)	x	
<i>Pachygrapsus transversus</i> (Gibbes, 1850)	x	x
<i>Planes minutus</i> (Linnaeus, 1758)		x
<b>Familia Percnidae</b>		
<i>Percnon gibbesi</i> (H. Milne-Edwards, 1853)	x	x
<b>Familia Plagusiidae</b>		
<i>Plagusia depressa</i> (Fabricius, 1775)		x
<b>Familia Sesarmidae</b>		
<i>Aratus pisonii</i> (H. Milne-Edwards, 1837)	x	
<i>Armases angustipes</i> (Dana, 1852)	x	
<i>Armases cinereum</i> (Bosc, 1802)	x	x
<i>Armases ricordi</i> (H. Milne-Edwards, 1853)	x	x
<b>Familia Varunidae</b>		
<i>Cyclograpsus integer</i> H. Milne-Edwards, 1837	x	x

**Tabla 2.** Riqueza específica de malacostracos registrada en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Taxón	SALT	SAV
<b>Superfamilia Ocypodoidea</b>		
<b>Familia Ocypodidae</b>		
<i>Leptuca spinicarpus</i> (Rathbun, 1900)	x	
<i>Minuca rapax</i> (Smith, 1870)	x	
<i>Minuca vocator vocator</i> Crane, 1975	x	
<i>Ocypode quadrata</i> (Fabricius, 1787)	x	x
<b>Familia Ucididae</b>		
<i>Ucides cordatus</i> (Linnaeus, 1763)	x	
<b>Superfamilia Pinnotheroidea</b>		
<b>Familia Pinnotheridae</b>		
<i>Austinixa cristata</i> (Rathbun, 1900)		x
<i>Dissodactylus crinitichelis</i> Moreira, 1901		x
<i>Pinnixa cylindrica</i> (Say, 1818)		x
<i>Pinnixa floridana</i> Rathbun, 1918		x
<i>Pinnixa sayana</i> Stimpson, 1860		x
<i>Pinnotheres shoemakeri</i> Rathbun, 1918		x
<b>Total</b>	<b>181</b>	<b>293</b>

Cabe señalar que los crustáceos de los sistemas arrecifales de Veracruz son de los más estudiados en la costa este de México. No obstante, después de la contribución de Hermoso-Salazar y Arvizu-Coyotzi (2015), las especies agregadas desde entonces al inventario de estos crustáceos han sido escasas. Para el SAV se incluyeron 34 especies, principalmente de peracáridos (Arenas-Fuentes y Hernández-Aguilera, 2000; Álvarez-Noguera, 2007; Winfield, 2013; Cházaro-Olvera 2017; 2018a, b). El caso de SALT fue diferente, puesto que este trabajo es el primero que proporciona una compilación más completa de malacostracos para la zona, ya que se incluyeron a los estomatópodos, decápodos y peracáridos. Hasta el momento se registran 181 especies

y subespecies de crustáceos malacostracos en ese sistema arrecifal. Es muy probable que el número de especies se incremente conforme se realicen investigaciones en estos arrecifes (tabla 1).

El inventario de crustáceos del Sistema Arrecifal de Lobos-Tuxpan corresponde sólo al 61% de lo conocido en el SAV (293 especies y subespecies). Los estudios en el área son limitados, destacan los de Ray (1974), Rickner (1975, 1977), McKinney (1978), Allen (1982), López-Salgado (1986), Hernández-Aguilera *et al.* (1996), Arenas-Fuentes y Hernández-Aguilera (2000), Álvarez-Noguera (2007), Winfield *et al.* (2013), Winfield y Ortiz (2013) y Ortiz *et al.* (2013). En comparación con los casi 40 estudios menciona-

dos por Hermoso-Salazar y Arvizu-Coyotzi (2015) para uno o varios arrecifes de SAV, además de los trabajos de Cházaro-Olvera (2017, 2018a,b).

El trabajo de Ortiz *et al.* (2013) corresponde a la primera contribución de isópodos para el Sistema Arrecifal Tuxpan-Lobos, de las 31 especies mencionadas por estos autores, 29 no se habían registrado para los sistemas arrecifales de Veracruz y de éstas, 10 especies fueron registros nuevos para el golfo de México. Según Ahyong *et al.* (2011), los peracáridos ocupan el primer lugar en riqueza específica entre los crustáceos (10 661 especies) a nivel mundial. Considerando esto, el conocimiento de este grupo es aún pobre en los dos sistemas arrecifales de interés de este estudio, pues a la fecha se conocen sólo 33 especies, 26 para el SALT y 12 para el SAV, aunque la riqueza es superior (nueve especies para el SAV) a la registrada por Hermoso-Salazar y Arvizu-Coyotzi (2015). Winfield y Ortiz (2011) indican que es de esperarse que el inventario faunístico de los isópodos crezca con el incremento de investigaciones futuras. Otras regiones de la costa este de México cuentan con mayor riqueza específica de isópodos, Ortiz *et al.* (2014) registraron 49 especies asociadas al Sistema Arrecifal Bajos de Sisal y Puerto Progreso. En tanto, en el Caribe mexicano, Monroy-Velázquez y Álvarez (2016) reconocieron 70 especies y sugieren que éste es el orden de peracáridos más diverso en la costa de Quintana Roo.

Cházaro-Olvera *et al.* (2018b) analizaron la biodiversidad, la distribución geográfica y algunos parámetros de comunidades de 30 especies de tanaidáceos asociadas a tres sistemas arrecifales del sw y se del golfo de México. No obstante, el inventario para el SAV se in-

crementó sólo con la inclusión de *Chondrochelia dubia* (Krøyer, 1842), registrada en nueve arrecifes de este ecosistema (isla Gallequilla, isla Blanquilla, Anegada de Adentro, isla Verde, arrecife Hornos, arrecife Pájaros, Anegada de Afuera, isla de Enmedio y arrecife Blanca); sin embargo, los registros de los tanaidáceos mencionados por Cházaro-Olvera *et al.* (2018b) son los primeros para el estado de Veracruz: 16 especies en SALT y 30 en SAV. De acuerdo con Hermoso-Salazar y Arvizu-Coyotzi (2015), los tanaidáceos corresponden al grupo de peracáridos menos conocido no sólo en Veracruz (21 especies), sino en el golfo de México. Con esto se evidencia la necesidad de poner mayor atención al estudio de los diferentes órdenes de peracáridos, principalmente para aquellos órdenes de los que no se cuenta con registros pero que pueden ser abundantes y diversos, como Cumacea y Mysida. Tal vez el problema de la falta de estudios de estos invertebrados radica en las tallas pequeñas que presentan los individuos, la complejidad de reconocer las estructuras importantes para la determinación taxonómica y el dimorfismo sexual marcado que puede provocar confusiones taxonómicas.

El orden Amphipoda, es el grupo de peracáridos probablemente mejor estudiado en la costa este de México (Hermoso-Salazar y Arvizu-Coyotzi, 2015; Paz-Ríos *et al.*, 2018). Este orden presenta un número mayor de especies registradas en los arrecifes de Veracruz (51 especies). No obstante, la riqueza específica conocida para esta región del país, también resulta baja en comparación con otras regiones. Paz-Ríos *et al.* (2018) registraron 117 especies de anfípodos en el Arrecife Alacranes, Yucatán. En este estudio, las 51 especies del orden se registraron en el SAV, en tanto que

en el SALT sólo se han registrado *Apolochus delacaya* (McKinney, 1978) y *Paracaprella guerragarciai* Winfield y Ortiz, 2013, ambas con el SALT como localidad tipo.

Con respecto al orden Decapoda, en este estudio se registraron 238 especies en los dos sistemas arrecifales: 198 en el SAV y 137 en SALT. Hermoso-Salazar y Arvizu-Coyotzi (2007; 2015) proporcionaron un inventario de decápodos del SAV y mencionaron 172 y 183 especies, respectivamente. A partir de los dos trabajos anteriores, se observó que la incorporación de las especies al inventario de los decápodos, al menos para el SAV, prácticamente ha sido nula en los últimos años. Álvarez-Noguera *et al.* (2011) puntualizaron que no se conoce por completo el número de especies de Veracruz; sin embargo, éste es de los estados de México con la fauna carcinológica mejor estudiada. La única contribución reciente para el orden Decapoda corresponde a la de Cházaro-Olvera *et al.* (2017). Estos autores analizaron la distribución, la densidad,

biomasa y algunos aspectos de la reproducción del camarón *Belzebub faxoni* (Borradale, 1915) en poblaciones del SAV.

Se espera que el número de especies en los sistemas arrecifales de Veracruz se incremente conforme aumenten las investigaciones, especialmente en el SALT. Ortiz-Lozano *et al.* (2013) subrayaron que la escasa atención por parte de los investigadores para estudiar la fauna de los sistemas arrecifales de Veracruz no se limita sólo a la carcinofauna. Los autores también indicaron que los arrecifes del SALT son los menos expuestos a las actividades humanas; sin embargo, enfatizaron el riesgo al que están expuestos por las modificaciones del puerto de Tuxpan. Lo que probablemente repercutió en la fauna en general y es motivo de preocupación debido a que no se conoce en su totalidad la riqueza específica que albergan los arrecifes de la zona, por lo que se requiere orientar los esfuerzos de investigación hacia el estudio de la fauna de estos arrecifes.

## CONCLUSIONES

Este estudio proporciona la primera estimación de la riqueza de especies de malacostracos del SALT y una actualización de su inventario en el SAV. Constituye una aportación significativa, como una base útil, para el análisis de la biodiversidad de crustáceos de los arrecifes

de coral de México. Asimismo, es una fuente de referencia para dirigir los esfuerzos en los grupos biológicos menos conocidos en ecosistemas tan importantes como los arrecifes coralinos.

## LITERATURA CITADA

- Ahyong, S.T., J.K. Lowry, M. Alonso, R.N. Bamber, G.A. Boxshall, P. Castro, S. Gerken, G.S. Karaman, J.W. Goy, D.S. Jones, K. Meland, D.C. Rogers & J. Svavarsson, 2011. Subphylum Crustacea Brünnich, 1772. En: Z.-Q. Zhang (ed.). *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa*, 3148:165-191.
- Allen, R.L., 1982. The reptant decapods of Enmedio and Lobos coral reefs, southwestern Gulf of Mexico. M.S. Thesis. *Corpus Christi State University, Texas*. 65 pp.
- Álvarez-Noguera, F., 2007. *Computarización de la Colección Nacional de Crustáceos del Instituto de Biología, UNAM y elaboración de su catálogo*. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. U046. México D.F.
- Álvarez-Noguera, F., J.L. Villalobos & S. Cházaro-Olvera, 2011. Camarones y cangrejos dulceacuícolas y marinos (Crustacea: Decapoda). En: *La Biodiversidad de Veracruz: Estudio de Estado*. CONABIO, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. 287-293 pp.
- Anderson, G., 2017. *Tanaidacea thirty years of scholarship, Version 2.5.808*. <http://aquila.usm.edu/tanaids30/4/>.
- Arenas-Fuentes, V. & J.L. Hernández-Aguilera, 2000. *Fauna carcinológica de México. Crustáceos estomatópodos y decápodos del golfo de México. Río Bravo, Tamaulipas a Cabo Catoche, Q. Roo*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Informe final SNIB-CONABIO. Proyecto No. H022. México, D.F.
- Cházaro-Olvera, S., M. Ortiz, I. Winfield, J.A. Pérez-Ramos & C. Meiners-Mandujano, 2017. Distribution, density, sex ratio and fecundity of *Belzebub faxoni* (Decapoda, Luciferidae) in the Veracruz Reef System, SW Gulf of Mexico. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(3):467-478.
- Cházaro-Olvera, S., M. Ortiz, I. Winfield, R. Robles & D.A. Torres-Cabrera, 2018a. Morphology of stomatopod larvae from National Parks: Sistema Arrecifal Veracruzano and Arrecife Puerto Morelos, Mexico. *Nauplius*, 26:e2018005.
- Cházaro-Olvera, S., I. Winfield, M. Abarca-Ávila, M. Ortiz & M. Lozano-Aburto, 2018b. Coral reef tanaidacean assemblages along the SW and SE Gulf of Mexico: biodiversity, geographic distribution and community structure. *Journal of Natural History*, 52:17-18.
- DeBroyer C., J.K. Lowry, K. Jazdzewski & H. Robert, 2007. Catalogue of the Gammaridean and Corophiidean Amphipoda (Crustacea) of the Southern Ocean, with distribution and ecological data. En: C. de Broyer (ed.). *Census of Antarctic Marine Life: Synopsis of the Amphipoda of the Southern Ocean*. Vol. I. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Biologie*, 77(1):1-325.
- DeGrave, S., C.H.J.M. Fransen & T.J. Page, 2015. Let's be pals again: major systematic changes in Palaemonidae (Crustacea: Decapoda). *PeerJ*, 3:e1167.
- DeGrave, S., C. Li, L. Tsang, K. Chu & T. Chan, 2014. Unweaving hippolytoid systematics (Crustacea, Decapoda, Hippolytidae): resurrection of several families. *Zoologica Scripta*, 43:496-507.
- Hermoso-Salazar, A.M. & K. Arvizu-Coyotzi, 2007. Los estomatópodos y decápodos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 101-112. En: A. Granados-Barba, L.G. Abarca-Arenas & J.M. Vargas-Hernández (eds.). *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche. 304 pp.
- Hermoso-Salazar, M. & K. Arvizu-Coyotzi, 2015. Crustáceos del Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Granados-Barba, A., L.D. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.), 2015. *Aportes al conocimiento del Sis-*

- tema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 366 pp.
- Hernández-Aguilera, J.L., R.E. Toral-Almazán & J.A. Ruiz-Nuño, 1996. *Especies catalogadas de crustáceos estomatópodos y decápodos para el Golfo de México. Río Bravo, Tamps. a Progreso, Yuc.* Secretaría de Marina. CONABIO. México. 132 pp.
- Ives, J.E., 1891. Crustacea from the northern coast of Yucatan, the harbor of Vera Cruz, the west coast of Florida and the Bermuda Islands. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 43:176-207.
- López-Salgado, I., 1986. Estudio taxonómico de la familia Majidae (Crustacea-Decapoda-Brachyura) de la costa este de México. *Tesis Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Iztacala*. Universidad Nacional Autónoma de México. 90 pp.
- Lowry, J.K. & A.A. Myers, 2017. A phylogeny and classification of the Amphipoda with the establishment of the new order Ingolfiellida (Crustacea: Peracarida). *Zootaxa*, 4265(1):1-89.
- McKinney, L., 1978. Amphilochidae (Crustacea: Amphipoda) from the Western Gulf of Mexico and Caribbean Sea. *Gulf Research Reports*, 6(2):137-143.
- Miers, E.J., 1880. Notice of crustaceans collected by P. Geddes, Esq., at Vera Cruz. *Journal of the Linnean Society of London, Zoology*, 15(82):85-87.
- Monroy-Velázquez, V. & F. Alvarez. 2016. New records of isopods (Crustacea: Peracarida: Isopoda) from the Mesoamerican Reef at Puerto Morelos, Quintana Roo, Mexico. *CheckList*, 12(4):1938.
- Ortiz, M., N.B. Cruz-Cano, I. Winfield, S. Cházaro-Olvera & M. Lozano-Aburto, 2014. Los isópodos (Crustacea, Peracarida) asociados al Sistema Arrecifal Bajos de Sisal y Puerto Progreso, Yucatán, México. *Novitates Caribaea*, 7:95-104.
- Ortiz, M., I. Winfield, S. Cházaro-Olvera, B. López-Del Río & M.A. Lozano-Aburto, 2013. Isópodos (Crustacea: Peracarida) del área natural protegida Arrecife Tuxpan-Lobos, Veracruz, México: Lista de especies y registros nuevos. *Novitates Caribaea*, 6:63-75.
- Ortiz-Lozano, L., C. Colmenares-Campos & A. Gutiérrez-Velázquez, 2018. Submerged coral reefs in the Veracruz Reef System, Mexico, and its implications for marine protected area management. *Ocean & Coastal Management*, 158:11-23.
- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez & J. Martos, 2013. The reef corridor of the Southwest Gulf of Mexico: challenges from its management and conservation. *Ocean and Coastal Management*, 86:22-32.
- Paz-Ríos, C.E., N. Simões & D. Pech, 2018. Species richness and spatial distribution of benthic amphipods (Crustacea: Peracarida) in the Alacranes Reef National Park, Gulf of Mexico. *Marine Biodiversity*, 1-10.
- Ray, J.P., 1974. A study of the coral reef crustacean (Decapoda and Stomatopoda) of two Gulf of Mexico reef systems: West Flower Garden, Texas and Isla de Lobos, Veracruz, Mexico. *Ph. D. Dissertation, Texas A&M University, College Station*. 323 pp.
- Richardson, H., 1901. Key to the isopods of the Atlantic coast of North America with descriptions of new and little known species. *Proceedings United States National Museum*, 23(1222):493-579.
- Rickner, J.A., 1975. Notes on members of the family Porcellanidae (Crustacea: Anomura) collected on the east coast of Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 88(16):159-166.
- Rickner, J.A., 1977. Notes on a collection of crabs (Crustacea: Brachyura) from the east coast of Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 90:831-838.

- Sakai, K. & M. Türkay, 2014. A review of the collections of the infraorders *Thalassinidea Latreille*, 1831 and *Callianassidea Dana*, 1852 (Decapoda, Pleocyemata) lodged in three German, Museums, with revised keys to the genera and species. *Crustaceana*, 87(2):129-211.
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta & J. Maza. 2009. *Capital Natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad*. CONABIO. 97 pp.
- Windsor, A.M. & D.L. Felder, 2014. Molecular phylogenetic and taxonomic reanalysis of the family Mithracidae MacLeay (Decapoda: Brachyura: Majoidea). *Invertebrate Systematics*, 28:145-173.
- Windsor, A.M. & D.L. Felder, 2017. Corrigendum to: Molecular phylogenetics and taxonomic reanalysis of the family Mithracidae MacLeay (Decapoda: Brachyura: Majoidea). *Invertebrate Systematics*, 31(2): 232.
- Winfield, I., 2013. *Catálogo de las especies de crustáceos anfípodos invasores del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) y la actualización de la base de datos (CONABIO) de los anfípodos en México*. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. GN011. México, D.F.
- Winfield, I. & M. Ortiz, 2013. The Caprellidea (Crustacea: Peracarida: Amphipoda) from the Gulf of Mexico with a description of a new species of *Paracaprella*. *Scientia Marina*, 77:161-168.
- Winfield, I. & M. Ortiz. 2011. Crustáceos con bolsa incubadora (Crustacea: Malacostraca: Peracarida). En: *La Biodiversidad de Veracruz: Estudio de Estado*, CONABIO-Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. 277-286 pp.
- Winfield, I., M. Abarca-Ávila, M. Ortiz & M.A. Lozano-Aburto. 2013. Tanaidáceos (Peracarida: Tanaidacea) del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: listado faunístico y registros nuevos. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84:471-479.
- Zeidler, W. & C. de Broyer, 2009. Catalogue of the hyperiidean Amphipoda (Crustacea) of the Southern Ocean with distribution and ecological data. Vol. 3., Bulletin de L'institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique. En: C. de Broyer (Ed.). *Census of Antarctic Marine Life: Synopsis of the Amphipoda of the Southern Ocean*. 79 (Suppl. 1):1-96.



De La Cruz-Francisco, V. y R. González-Muñoz, 2019. Las Anémonas Marinas de los Sistemas Arrecifales de Veracruz, p. 139-156. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Las Anémonas Marinas de los Sistemas Arrecifales de Veracruz

*Vicencio De La Cruz-Francisco<sup>1</sup> y Ricardo González-Muñoz<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Tuxpan. Universidad Veracruzana

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras,  
Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina

\*vicenciodelacruz@gmail.com

## RESUMEN

Las anémonas conforman un amplio grupo de invertebrados sésiles y bentónicos que habitan en todos los ecosistemas marinos, aunque son muy comunes y abundantes en ecosistemas costeros asociados a arrecifes de coral. En el presente estudio se brinda un listado taxonómico actualizado de las especies de anémonas presentes en cinco de las diez formaciones arrecifales del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, incluyendo tres nuevos registros de anémonas para la localidad. Asimismo, se brinda un catálogo fotográfico de las especies incluidas en el listado, con el fin de ofrecer una herramienta de apoyo a la identificación taxonómica del grupo. Con las adiciones de *Zoanthus solanderi* y *Palythoa grandis*, la fauna de anémonas asciende a 26 especies conocidas en los arrecifes de Veracruz comprendidos dentro del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan y el Sistema Arrecifal Veracruzano.

**Palabras clave:** Actiniaria, Corallimorpharia, Zoantharia, Ceriantharia

## ABSTRACT

Sea anemones constitute a wide group of sessile and benthic invertebrates that inhabit all marine ecosystems, although they are very common and abundant in coastal ecosystems associated with coral reefs. In the present study, we provide an updated taxonomic list of sea anemone species occurring in five of the ten reef formations at the Lobos-Tuxpan Reef System, including three new records of sea anemones for the locality. In addition, we provide a photographic catalog with images of the living species included in the list, with the aim to provide a visual guide to facilitate taxonomic identification of the group. With the additions of *Zoanthus solanderi* and *Palythoa grandis*, the number of known species of sea anemones increases to 26 for coral reef systems in Veracruz within the Lobos-Tuxpan and the Veracruz Reef Systems.

**Keywords:** Actiniaria, Corallimorpharia, Zoantharia, Ceriantharia

## INTRODUCCIÓN

Bajo el término de anémonas marinas se conoce a un amplio grupo de invertebrados marinos sésiles y bentónicos que habitan en casi todos los ecosistemas marinos, en todas latitudes y profundidades (Daly *et al.*, 2008). Las anémonas se encuentran entre los grupos faunísticos más frecuentes y, en muchos casos, más conspicuos y abundantes en varias zonas y subzonas de los ecosistemas costeros asociados a los arrecifes de coral. En estos ecosistemas, las anémonas cumplen con un importante papel en las cadenas tróficas, desempeñándose por un lado como depredadoras polífagas oportunistas y, en contraparte, incorporando energía del bentos a la columna de agua mediante la liberación de metabolitos, gametos y crías, y fungiendo como presas de una variedad de depredadores como peces, crustáceos, moluscos, equinodermos y tortugas marinas (Sebens y Paine, 1978; Daly *et al.*, 2008; Torres-Pratts *et al.*, 2011). Asimismo, muchas especies de anémonas habitantes de aguas tropicales son consideradas productoras primarias al ser hospederas de dinoflagelados fotosintéticos endosimbiontes conocidos comúnmente como zooxanthellas (LaJeunes-

se, 2002; Fautin y Daly, 2009), al igual que sucede con los corales formadores de arrecifes. El éxito ecológico de las anémonas se ve también facilitado por su propensión para establecer estrechas relaciones simbióticas con otros animales (Daly *et al.*, 2008), incluyendo cangrejos ermitaños (Gusmão y Daly, 2010), moluscos, peces (Dunn, 1981), y camarones limpiadores (Briones-Fourzán *et al.*, 2012; Mascaró *et al.*, 2012).

En el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) se han documentado algunas especies de anémonas, principalmente en estudios de índole ecológica y/o como integrantes de la comunidad bentónica local (De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016a, b; González-González *et al.*, 2016; De la Cruz-Francisco y Bandala-Pérez, 2016). Aunque en la localidad se conocía la ocurrencia de alrededor de 13 especies de anémonas, recientes observaciones han revelado la presencia de un mayor número de especies. En el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) se han reportado hasta el momento 24 especies de anémonas (González-Muñoz *et al.*, 2013, 2015; Tello-Musi *et al.*, 2018) incluyendo la descripción de dos nuevas espe-

cies, *Botruanthus mexicanus* (Stampar *et al.*, 2017) y *Anthopleura dalyae* (González-Muñoz *et al.*, 2018).

Los listados taxonómicos son fundamentales para el conocimiento y estudio de la biodiversidad marina arrecifal, además de constituir la base para el desarrollo de estudios biológicos, ecológicos, biogeográficos y filogenéticos, y de ser útiles en los monitoreos sobre el estado de la biodiversidad local, o regional, y en la selección de estrategias para la conservación de los ecosistemas, en especial para aquellas zonas que se encuentran expuestas a impacto antrópico directo. El objetivo del presente estudio es brindar un listado ta-

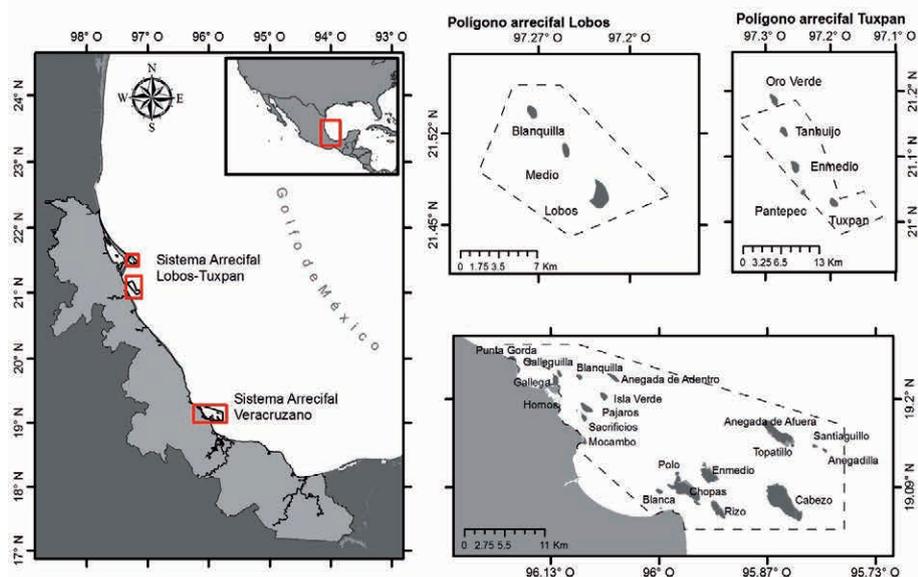
xonómico actualizado acerca de las especies de anémonas marinas habitantes del SALT y del SAV, así como la actualización en su intervalo de distribución regional. Adicionalmente, se brinda un catálogo fotográfico con imágenes de la mayoría de las especies enlistadas, con el fin de ofrecer una herramienta visual que sirva de apoyo para la identificación taxonómica de las especies de anémonas, y fomentar de esta manera el estudio taxonómico y biológico de las anémonas en la región. Finalmente, se brinda una tabla comparativa entre las especies de anémonas reportadas en el SALT con las que han sido registradas anteriormente en el SAV.

## MÉTODOS

En el presente estudio se aportan datos de la ocurrencia de anémonas marinas observadas en los arrecifes de Tuxpan (abril, 2015; mayo, 2016) y Tanhuijo (agosto, 2015) (figura 1), producto de muestreos ocasionales, mismos que se realizaron mediante buceo autónomo entre 10-25 m de profundidad en la pendiente de sotavento. Asimismo, se efectuaron recorridos explorando las áreas someras de la laguna arrecifal en ambos ecosistemas.

Para complementar la información, se realizó una búsqueda de todos los trabajos que incluyen datos sobre especies de anémonas marinas en el SALT, incluyendo trabajos de tesis y artículos publicados. Cabe señalar que sólo se encontró información referente a especies de anémonas marinas en tres de los

diez arrecifes del SALT: arrecife de Isla Lobos (21.450000°N-97.220278°O), arrecife Oro Verde (21.188889°N-97.288056°O) y arrecife Enmedio (21.066667°N-97.254167°O) (figura 1). Adicionalmente, se revisaron los trabajos con registros de las especies de anémonas reportadas en el SAV con base en los estudios de González-Muñoz *et al.* (2013; 2015; 2018), Stampar *et al.* (2017) y Tello-Musi *et al.* (2018) quienes proporcionan nuevos registros y especies, así como un inventario actualizado de estos invertebrados. Con estos datos se elaboró un cuadro comparativo de las especies de anémonas del SALT y SAV con el objetivo de comparar la composición de especies y conocer la riqueza total.



**Figura 1.** Mapa de la costa veracruzana, golfo de México, señalado la localización y las formaciones arrecifales que conforman en SALT y el SAV.

**Tabla 1.** A) Olvera-Pérez (2010); B) De la Cruz-Francisco (2013); C) González-González *et al.* (2016); D) De la Cruz-Francisco *et al.* (2016a); E) De la Cruz-Francisco *et al.* (2016b); F) De la Cruz-Francisco y Bandala-Pérez (2016); G) González-Muñoz *et al.* (2015); H) Stampar *et al.* (2017); I) González-Muñoz *et al.* (2018); J) Tello-Musi *et al.* (2018), N) Nuevo registro en el SALT; \* = este estudio; SALT = Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan; SAV = Sistema Arrecifal Veracruzano.

No.	Especie	SALT					SAV
		Tuxpan	En medio	Tanhujo	Lobos	Oro Verde	
<b>Actiniaria</b>							
1	<i>Actinostella flosculifera</i> (Le Sueur, 1817)	*	D		B		G
2	<i>Anemonia sargassensis</i> Hargitt, 1908						G
3	<i>Anthopleura krebsi</i> Duchassaing y Michelotti, 1860						G
4	<i>Anthopleura dalyae</i> González-Muñoz, Garese y Acuña, 2018						I
5	<i>Bunodosoma cavernatum</i> (Bosc, 1802)				A		G
6	<i>Bunodosoma granuliferum</i> (Le Sueur, 1817)						G
7	<i>Isoaulactinia stelloides</i> (McMurrich, 1889)						G

**Tabla 1.** A) Olvera-Pérez (2010); B) De la Cruz-Francisco (2013); C) González-González *et al.* (2016); D) De la Cruz-Francisco *et al.* (2016a); E) De la Cruz-Francisco *et al.* (2016b); F) De la Cruz-Francisco y Bandala-Pérez (2016); G) González-Muñoz *et al.* (2015); H) Stampar *et al.* (2017); I) González-Muñoz *et al.* (2018); J) Tello-Musi *et al.* (2018), N) Nuevo registro en el SALT; \* = este estudio; SALT = Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan; SAV = Sistema Arrecifal Veracruzano.

No.	Especie	SALT					SAV
		Tuxpan	En medio	Tanhuijo	Lobos	Oro Verde	
8	<i>Exaiptasia pallida</i> (Agassiz en Verrill, 1864)						G
9	<i>Bartholomea annulata</i> (Le Sueur, 1817)	*	D	*		F	G
10	<i>Laviactis lucida</i> (Duchassaing y Michelotti, 1860)						G
11	<i>Lebrunia coralligens</i> (Wilson, 1890)	*	C, D, E	*	A, B		G
12	<i>Actinoporus elegans</i> Duchassaing, 1850	*	D				G
13	<i>Telmatactis cricoides</i> (Duchassaing, 1850)						G
14	<i>Calliactis tricolor</i> (Le Sueur, 1817)		N				J
15	<i>Phymanthus crucifer</i> (Le Sueur, 1817)	*	C, D, E	*	B		G
16	<i>Stichodactyla helianthus</i> (Ellis, 1768)	*	C, D, E	*	A		G
<b>Corallimorpharia</b>							
17	<i>Discosoma carlgreni</i> (Watzl, 1922)						G
18	<i>Rhodactis osculifera</i> (Le Sueur, 1817)	*	D	*			G
<b>Zoantharia</b>							
19	<i>Palythoa caribaeorum</i> Duchassaing y Michelotti, 1860	*	C, D, E	*	A, B		G
20	<i>Palythoa grandis</i> (Verrill, 1900)		D		*		
21	<i>Zoanthus pulchellus</i> Duchassaing y Michelotti, 1864	*	C, D, E	*	B		G
22	<i>Zoanthus sociatus</i> (Ellis, 1768)		N				G
23	<i>Zoanthus solanderi</i> Le Sueur, 1818		N				
24	<i>Unmimayanthus parasiticus</i> (Duchassaing y Michelotti, 1860)	*	D	*	*	F	G

**Tabla 1.** A) Olvera-Pérez (2010); B) De la Cruz-Francisco (2013); C) González-González *et al.* (2016); D) De la Cruz-Francisco *et al.* (2016a); E) De la Cruz-Francisco *et al.* (2016b); F) De la Cruz-Francisco y Bandala-Pérez (2016); G) González-Muñoz *et al.* (2015); H) Stampar *et al.* (2017); I) González-Muñoz *et al.* (2018); J) Tello-Musi *et al.* (2018), N) Nuevo registro en el SALT; \* = este estudio; SALT = Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan; SAV = Sistema Arrecifal Veracruzano.

No.	Especie	SALT			SAV
		Tuxpan	En medio	Tanhuijo Lobos Oro Verde	
<b>Ceriantharia</b>					
25	<i>Isarachnanthus nocturnus</i> (den Hartog, 1977)			A	G
26	<i>Botruanthus mexicanus</i> Stampar, González-Muñoz y Morandini, 2017				H

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los estudios previos que incluyen registros de anémonas marinas en el SALT comprenden en conjunto 13 especies de anémonas representantes de la subclase Hexacorallia dentro de los órdenes Actiniaria, Corallimorpharia y Zoantharia, y de la subclase Ceriantharia. En el presente estudio, las especies *Calliacis tricolor*, *Zoanthus sociatus* y *Zoanthus solanderi* son reportadas por primera vez en el SALT, específicamente en el arrecife Enmedio (tabla 1). En general, se conocen hasta el momento 16 especies de anémonas marinas presentes en el SALT, clasificadas en dos subclases, cuatro órdenes, 12 familias y 13 géneros taxonómicos. A excepción de las especies *Z. solanderi* y *Palythoa grandis*, las demás especies de anémonas encontradas en el SALT han sido también registradas en el SAV (González-Muñoz *et al.*, 2013; 2015a; Tello-Musi *et al.*, 2018), en arrecifes del banco de Campeche (González-Muñoz *et al.*, 2013), y en el mar Caribe Mexicano (Jordán-Dahlgren, 2008; González-Muñoz *et al.*, 2012; 2015b).

El listado actualizado incluye 26 especies de anémonas para los sistemas arrecifales de Veracruz, de las cuales dos taxones son nuevos registros para Veracruz (*Z. solanderi* y *P. grandis*, tabla 1). La presente información es importante para el conocimiento de la biodiversidad arrecifal; sin embargo, aún se desconoce la fauna de anémonas presentes en el Sistema Arrecifal de los Tuxtlas (SAT), por lo que es oportuno realizar estudios en estos arrecifes poco explorados.

Jordán-Dahlgren (2002) observó un patrón decreciente de este a oeste en la abundancia y diversidad de corales blandos (gorgonáceos) desde la península de Yucatán hasta el SAV, y también un declive en abundancia y diversidad de sur a norte, desde el SAV hasta los arrecifes de isla Lobos en el SALT. Menciona que este patrón puede atribuirse a una limitada conectividad ecológica entre el SAV y el SALT con los arrecifes de la plataforma de Yucatán, principalmente a causa de la dinámica de las corrientes oceánicas y costeras, así como por

efectos continentales y locales. En el SAV, hasta el momento, se han reportado 24 especies de anémonas marinas (González-Muñoz *et al.*, 2013, 2015a, 2018; Stampar *et al.*, 2017; Tello-Musi *et al.*, 2018) y 30 han sido reportadas para el banco de Campeche y mar Caribe Mexicano (Jordán-Dahlgren, 2008; González-Muñoz, 2014; González-Muñoz *et al.*, 2012, 2013, 2015b). La comparación de la riqueza específica de anémonas entre el mar Caribe Mexicano, el SAV y el SALT, coincide en cierta forma con las observaciones de Jordán-Dahlgren (2002) para corales blandos. No obstante, los registros de las 16 especies de anémonas en el SALT se concentran sólo en cinco de las diez formaciones arrecifales presentes en este sistema, mientras que los otros cinco arrecifes permanecen pobremente estudiados o incluso inexplorados, particularmente en el estudio de la diversidad de anémonas presente. Es posible que un mayor número de especies de anémonas ocurra en el SALT, aunque se requiere amplificar la zona de muestreo hacia los ecosistemas arrecifales aún no estudiados, lo cual indica la necesidad de un mayor esfuerzo de muestreo pero a su vez una fuente de estudios potenciales.

#### LISTADO FAUNÍSTICO DE LAS ESPECIES DE ANÉMONAS MARINAS PRESENTES EN EL SALT

El listado faunístico sigue la clasificación de Rodríguez *et al.* (2014) para Actiniaria; de Fautin (2013) para Corallimorpharia; de Reimer y Sinniger (2018) para Zoantharia, y de Molodstova (2018) para Ceriantharia.

#### Filo CNIDARIA

##### Clase ANTHOZOA

##### Subclase HEXACORALLIA Haeckel, 1896

##### Orden ACTINIARIA Hertwig, 1882

##### Familia Actiniidae Rafinesque, 1815

*Actinostella flosculifera* (Le Sueur, 1817) (figura 2a).

*Bunodosoma cavernatum* (Bosc, 1802).

##### Familia Aiptasiidae Carlgren, 1924

*Bartholomea annulata* (Le Sueur, 1817) (figura 2b).

##### Familia Aliciidae Duerden, 1895

*Lebrunia coralligens* (Wilson, 1890) (figura 2c, d).

##### Familia Capneidae Gosse, 1860

*Actinoporus elegans* Duchassaing, 1850 (figura 2e).

##### Familia Hormathiidae Carlgren, 1932

*Calliactis tricolor* (Le Sueur, 1817) (Figura 2f).

##### Familia Phymanthidae Milne-Edwards y Haime, 1851

*Phymanthus crucifer* (Le Sueur, 1817) (figura 2g, h).

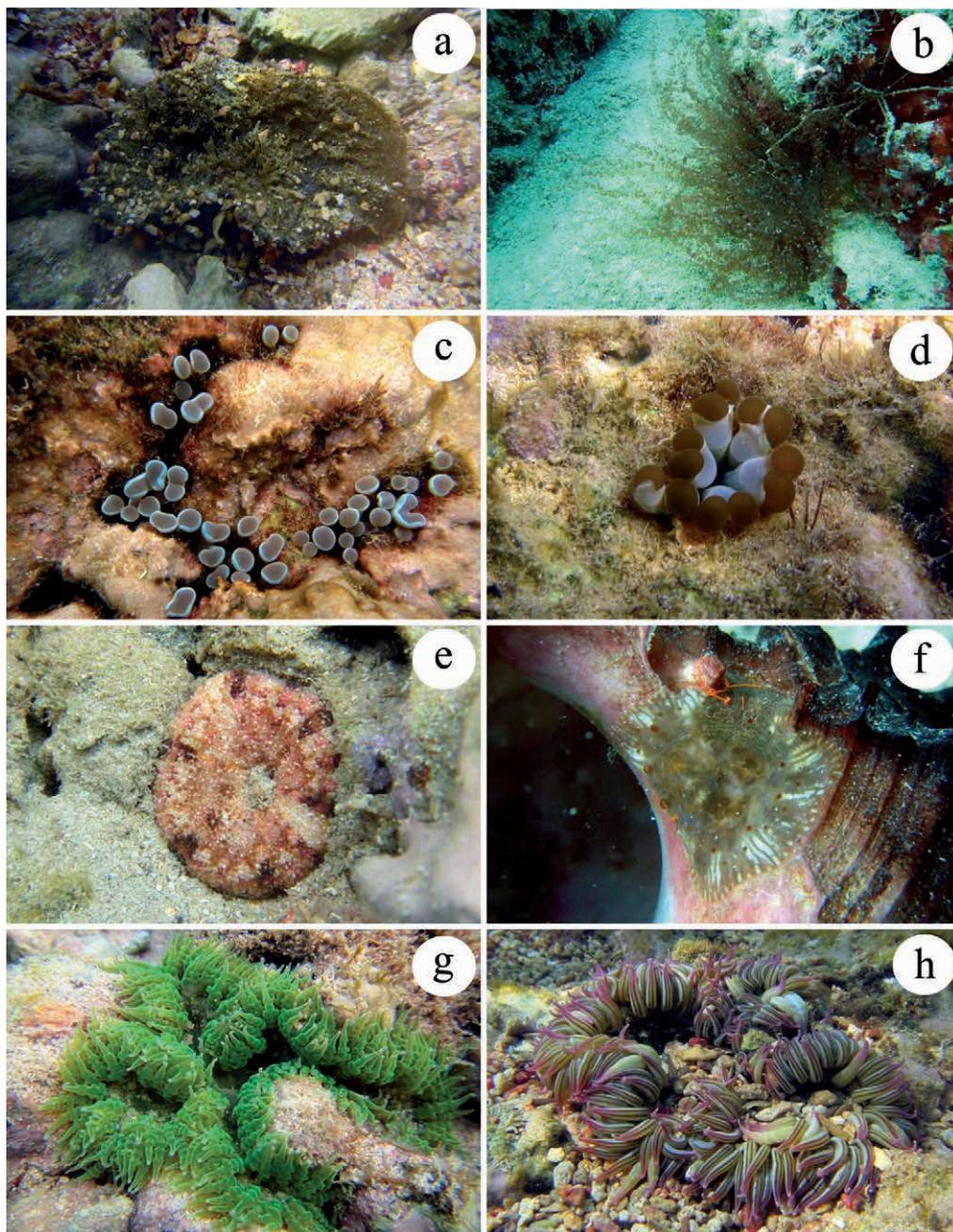
##### Familia Stichodactylidae Andres, 1883

*Stichodactyla helianthus* (Ellis, 1768) (figura 3a).

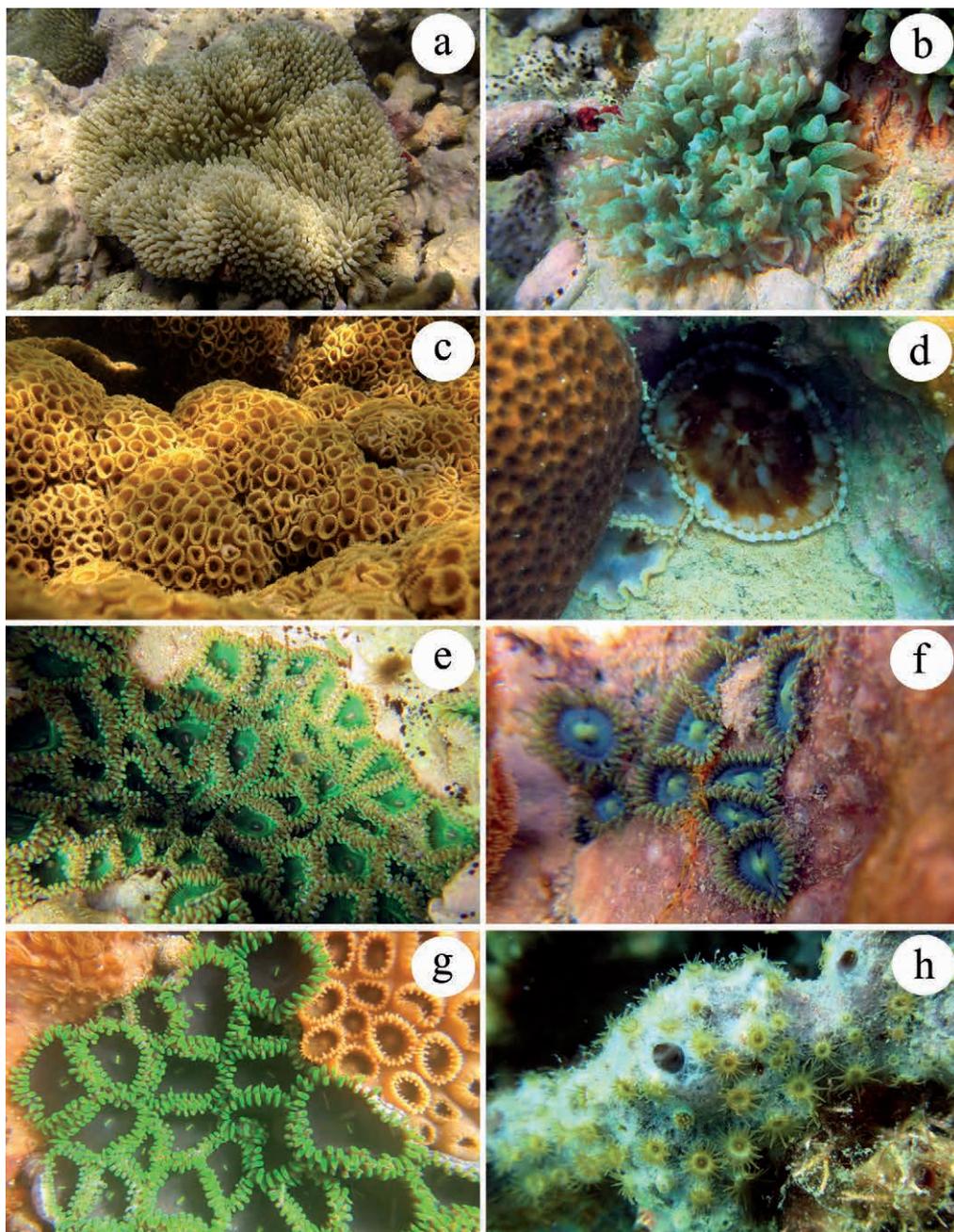
#### Orden CORALLIMORPHARIA

##### Familia Discosomidae Verrill, 1869

*Rhodactis osculifera* (Le Sueur, 1817) (figura 3b).



**Figura 2.** (a) *Actinostella flosculifera*, (b) *Bartholomea annulata*, (c) *Lebrunia coralligens* (morfortipo azul), (d) *Lebrunia coralligens* (morfortipo café), (e) *Actinoporus elegans*, (f) *Calliactis tricolor* (disco oral contraído), (g) *Phymanthus crucifer* (morfortipo con tentáculos con protuberancias), (h) *Phymanthus crucifer* (morfortipo con tentáculos lisos).



**Figura 3.** (a) *Stichodactyla helianthus*, (b) *Rhodactis osculifera*, (c) *Palythoa caribaeorum*, (d) *Palythoa grandis*, (e) *Zoanthus pulchellus*, (f) *Zoanthus sociatus*, (g) *Zoanthus solanderi*, (h) *Umimayanthus parasiticus*.

**Orden ZOANTHARIA Gray, 1832**

**Suborden Brachycnemina Haddon y Shackleton, 1891**

**Familia Sphenopidae Hertwig, 1882**

*Palythoa caribaeorum* (Duchassaing

y Michelotti, 1860) (figura 3c)

*Palythoa grandis* (Verrill, 1900) (figura 3d)

**Familia Zoanthidae Rafinesque, 1815**

*Zoanthus pulchellus* (Duchassaing y Michelotti, 1860) (Figura 3e)

*Zoanthus sociatus* (Ellis, 1768) (figura 3f)

*Zoanthus solanderi* Le Sueur, 1818

(figura 3g)

**Suborden Macrocnemina Haddon y Shackleton, 1891**

**Familia Parazoanthidae Delage y Hérouard, 1901**

*Umimayanthus parasiticus* (Duchassaing

y Michelotti, 1860) (figura 3h)

**Subclase CERIANTHARIA Perrier, 1893**

**Orden PENICILLARIA den Hartog, 1977**

**Familia Arachnactidae McMurrich, 1910**

*Isarachnanthus nocturnus* (den Hartog, 1977)

**REGISTROS DE ESPECIES**

**DE ANÉMONAS MARINAS EN EL SALT**

La especie *Actinostella flosculifera* (Figura 2a) habita comúnmente en zonas someras cubiertas parcialmente por pastos marinos, con la base firmemente adherida a sustratos duros enterrados en la arena, como pequeñas rocas o conchas de moluscos desocupadas (González-Muñoz *et al.*, 2012). Esta especie presenta una estructura circular que rodea al disco oral, denominada collar, la cual incluye una gran cantidad de zooxanthellas fotosintéticas que le proveen a la anémona una forma

alternativa de alimentación. Durante el día, los tentáculos de *A. flosculifera* permanecen contraídos y el collar ampliamente expandido permitiendo que las zooxanthellas asociadas capten la mayor luz solar posible; durante la noche la situación es viceversa, permitiendo la captura de presas por parte de los tentáculos (Häussermann, 2003). Esta especie había sido registrada en el SALT, en el arrecife de Isla Lobos (De la Cruz-Francisco, 2013) y en el arrecife Enmedio (De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016b), aunque éste es su primer registro en el arrecife de Tuxpan.

*Bunodosoma cavernatum* habita en aguas someras adherida a rocas o escombros de coral, en la zona protegida del arrecife (González-Muñoz *et al.*, 2013). Es común también observarla entre las escolleras de algunas playas a lo largo de la costa veracruzana (observación personal), así también en intermareales rocosos como en la barra de Cazones (De la Cruz-Francisco *et al.*, 2017). Esta especie fue registrada en el SALT por Olvera-Pérez (2010), en el arrecife de Isla Lobos.

La especie *Bartholomea annulata* (figura 2b) habita entre grietas y oquedades de rocas calcáreas, comúnmente entre la interfase de arena y roca (González-Muñoz *et al.*, 2012). Se asocia comúnmente con los camarones carideos limpiadores *Periclimenes yucatanicus* y *Ancylomenes pedersoni* (Silbiger y Childress, 2008), así como con los camarones alfeidos *Alpheus armatus* y *Alpheus immaculatus* (Knowlton y Keller, 1983, 1985). Esta especie había sido registrada en el SALT, en el arrecife Enmedio (De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016b) y en el arrecife Oro Verde (De la Cruz-Francisco y Bandala-Pérez, 2016), aunque éste es el primer registro para los arrecifes de Tuxpan y Tanhuijo.

*Lebrunia coralligens* habita entre las grietas de coral vivo, en las zonas someras protegidas de los arrecifes (González-Muñoz *et al.*, 2013). Esta especie posee estructuras en la columna llamadas pseudotentáculos, las cuales contienen una gran cantidad de zooxantelas. Durante el día, los pseudotentáculos permanecen completamente expandidos para la captación de luz solar, mientras que los tentáculos permanecen contraídos dentro de las grietas; durante la noche la situación es viceversa, permitiendo a los tentáculos la captura de presas (Sebens y DeRiemer, 1977). *Lebrunia coralligens* presenta dos morfotipos, uno con los pseudotentáculos globosos de color azul con el centro grisáceo (figura 2c), y otro con pseudotentáculos con las puntas bifurcadas de color café (figura 2d). A pesar de las diferencias en la forma y color de los pseudotentáculos, recientes análisis morfológicos y de tallas de cnidocistos entre estos morfotipos no muestran diferencias estadísticamente significativas (González-Muñoz *et al.*, 2017), por lo que los dos morfotipos siguen siendo considerados la misma especie taxonómica. Esta especie ha sido registrada previamente en el SALT, en el arrecife de Isla Lobos (Olvera-Pérez, 2010; De la Cruz-Francisco, 2013) y el arrecife Enmedio (González-González *et al.*, 2016; De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016a, 2016b), aunque este es el primer registro para *L. coralligens* en los arrecifes de Tuxpan y Tanhuijo.

La especie *Actinoporus elegans* (figura 2e) habita en fondos arenosos, con la columna enterrada aunque adherida fuertemente a rocas o conchas de moluscos enterrados (González-Muñoz *et al.*, 2013). *Actinoporus elegans* fue registrada previamente en el SALT por De la Cruz-Francisco *et al.* (2016a), específicamen-

te en el arrecife Enmedio, pero este es su primer registro en el arrecife Tuxpan.

*Calliactis tricolor* (figura 2f) es comúnmente encontrada sobre conchas de moluscos ocupadas por cangrejos ermitaños de especies como *Dardanus venosus*, *Dardanus fucosus* o *Petrochirus diogenes*, entre otros (Cutress y Ross, 1969; Cutress *et al.*, 1970; López-Victoria *et al.*, 2004). En esta relación simbiótica, la anémona protege a su hospedero de sus depredadores naturales, como el cangrejo *Callinectes flammula* y el pulpo *Octopus joubini*; en contraparte, el cangrejo protege a la anémona contra depredadores como la estrella de mar *Echinaster spinulosus* o el gusano de fuego *Hermodice carunculata*. Esta especie fue recientemente reportada en el SAV por Tello-Musi *et al.* (2018), aunque este es el primer registro de *C. tricolor* en el SALT, particularmente en el arrecife Enmedio.

*Phymanthus crucifer* habita entre rocas y esqueletos de coral, en la zona protegida de los arrecifes (González-Muñoz *et al.*, 2012). Es común encontrar a esta especie en una variedad de coloraciones, así como en dos morfotipos con respecto a diferencias en sus tentáculos marginales: uno con protuberancias en los tentáculos (figura 2g), y otro con tentáculos lisos y sin protuberancias (figura 2h). Recientes comparaciones morfológicas y genéticas entre estos dos morfotipos no muestran otras diferencias además de la presencia o ausencia de protuberancias en los tentáculos (González-Muñoz *et al.*, 2015c), por lo que siguen siendo consideradas actualmente la misma especie taxonómica. *Phymanthus crucifer* ha sido registrada previamente en el SALT, en el arrecife de isla Lobos (De la Cruz-Francisco, 2013), y el arrecife Enmedio (González-González *et al.*, 2016; De la Cruz-Francisco *et al.*,

2016a-b), aunque éste es su primer registro para los arrecifes de Tuxpan y Tanhuijo.

*Stichodactyla helianthus* (Figura 3a) habita adherida a rocas y esqueletos calcáreos entre los parches de arena y pastos marinos, en la zona protegida del arrecife. Usualmente forma agregaciones que pueden alcanzar grandes tamaños (González-Muñoz *et al.*, 2012). Se asocia comúnmente a camarones como *Periclimenes rathbunae* o *Thor amboinensis* que viven entre sus tentáculos. Esta especie se ha registrado previamente en el SALT, en los arrecifes de Isla Lobos (Olvera-Pérez, 2010) y Enmedio (González-González *et al.*, 2016; De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016a, 2016b), pero se registra por primera vez en los arrecifes de Tuxpan y Tanhuijo.

El coralimorfario *Rhodactis osculifera* (figura 3b) se encuentra con la base adherida fuertemente a sustratos rígidos como rocas y escombros de coral, en las zonas protegidas del arrecife. Comúnmente forma grandes agregaciones (Den Hartog, 1980). Esta especie ha sido reportada previamente en el arrecife Enmedio (De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016a), aunque éste es su primer registro en los arrecifes de Tuxpan y Tanhuijo.

*Palythoa caribaeorum* (figura 3c) se encuentra sobre el sustrato rocoso formado por esqueletos calcáreos, principalmente en las zonas de rompiente y protegidas del arrecife. Forma colonias que pueden ser muy abundantes y comunes a una profundidad de entre 0.5 y 6 m (Reimer *et al.*, 2012). Son eficientes competidores por espacio desplazando a otros invertebrados sésiles y tienen la capacidad de soportar la desecación por tiempo prolongado durante las mareas bajas (Sebens, 1982). Esta especie ha sido reportada anteriormente en el SALT, en los arrecifes de Isla Lobos

(Olvera-Pérez, 2010; De la Cruz-Francisco, 2013) y Enmedio (González-González *et al.*, 2016; De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016a-b).

La especie *Palythoa grandis* (figura 3d) se adhiere a sustratos rocosos formados por esqueletos calcáreos, en la zona protegida del arrecife. Forma colonias pequeñas de pocos pólipos (Reimer *et al.*, 2012). En el SALT, *P. grandis* ha sido reportada para el arrecife Enmedio, pero éste es su primer registro en el arrecife de Isla Lobos.

*Zoanthus pulchellus* (figura 3e) habita sobre sustratos rocosos formados por esqueletos calcáreos y escombros de coral, formando grandes colonias de pólipos sobre una base estolonar laminar, que pueden cubrir por completo las rocas (Reimer *et al.*, 2012). Ha sido reportada previamente en el SALT, en los arrecifes de Isla Lobos (De la Cruz-Francisco, 2013) y Enmedio (González-González *et al.*, 2016; De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016a-b), aunque éste es su primer registro en los arrecifes de Tuxpan y Tanhuijo.

La especie *Zoanthus sociatus* (figura 3f) habita adherida a sustratos rocosos formados por esqueletos calcáreos y escombros de coral, formando colonias de pólipos sobre una base estolonar reticulada (Reimer *et al.*, 2012). Ha sido previamente reportada en el SAV (González-Muñoz *et al.*, 2015a), aunque éste es su primer registro en el SALT, particularmente en el arrecife Enmedio.

*Zoanthus solanderi* (figura 3g) habita sobre sustratos rocosos formados por esqueletos calcáreos y escombros de coral, formando colonias de grandes pólipos sobre una base estolonar (Reimer *et al.*, 2012). Hasta donde se conoce, éste es el primer registro de esta especie en la costa veracruzana, así como en el SALT, particularmente en el arrecife Enmedio.

La especie de zoanthario colonial *Umimayanthus parasiticus* (figura 3h) forma colonias con sus pólipos embebidos sobre esponjas de varias especies como *Antosigmella varians*, *Callyspongia vaginalis*, *Niphates digitalis* y *Niphates erecta* (Varela *et al.*, 2003). Se había registrado previamente en el SALT, en los arrecifes de Enmedio (De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016a) y Oro Verde (De la Cruz-Francisco y Bandala-Pérez, 2016), pero éste es su primer registro en los arrecifes de Tuxpan, Tanhuíjo e Isla Lobos.

El ceriantario *Isarachnanthus nocturnus* es encontrado con la columna enterrada en la arena, cubiertos de un tubo de apariencia como fieltro, con sólo la porción del disco oral y los tentáculos sobre la superficie, en la zona protegida del arrecife. Esta especie ha sido reportada previamente en el SALT por Olvera-Pérez (2010), específicamente en el arrecife de Isla Lobos.

Las especies de amplia distribución y comunes de observar en el SALT son *P. crucifer*, *S. helianthus*, *P. caribaeorum* y *Z. pulchellus*, las cuales pueden observarse frecuentemente en la laguna arrecifal. Si bien *L. coralligenens* es también común en el SALT, algunas veces pasa desapercibida debido a su pequeño tamaño; por ello, es necesario revisar las grietas de corales vivos y de las rocas coralinas. Cabe destacar que *P. caribaeorum* manifiesta importantes parches en la planicie arrecifal del arrecife Enmedio, y generalmente cohabita con corales de fuego (*Millepora alcicornis*), octocorales (*Erythropodium caribaeorum*) y corales escleractinios como *Porites porites*, *Porites furcata*, *Pseudodiploria clivosa* (De la Cruz-Francisco *et al.*, 2016b). Las especies *B. annulata*, *R. osculifera*, *P. grandis*, *U. parasiticus* e *I. nocturnus* se observaron comúnmente a partir de los 3 m de profundidad y en las más zonas profundas de los arrecifes estudiados.

## CONSIDERACIONES FINALES

El listado taxonómico desarrollado en la presente contribución reúne el conocimiento actual acerca de la presencia de especies de anémonas marinas en el SALT, confirmando a su vez la ocurrencia de 16 especies representantes de los grupos Actiniaria, Corallimorpharia, Zoantharia y Ceriantharia, e incluyendo tres nuevos registros para la localidad: *Zoanthus sociatus*, *Zoanthus solanderi* y *Calliactis tricolor*. Asimismo, se incrementa a 26 el número de especies de anémonas conocidas

en los arrecifes coralinos de Veracruz estudiados hasta el momento en el SALT y el SAV. Finalmente se brinda un catálogo fotográfico con imágenes *in situ* de la mayoría de las especies de anémonas reportadas en el SALT, con el objetivo de que sirva como una guía para facilitar la identificación visual de las especies, fomentando también el desarrollo de estudios que permitan elucidar la importancia biológica y ecológica de las anémonas marinas en estos ecosistemas.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. James D. Reimer (University of the Ryukyus, Japón) por su valioso apoyo en la corroboración de las especies de anémonas del orden Zoantharia. El segundo autor de la presente contribución desea agra-

decir al Programa de Becas Posdoctorales Internas Latinoamericanas del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), en Argentina.

## LITERATURA CITADA

- Briones-Fourzán, P., M. Pérez-Ortiz, F. Negrete-Soto, C. Barradas-Ortiz & E. Lozano-Álvarez, 2012. Ecological traits of Caribbean sea anemones and symbiotic crustaceans. *Marine Ecology Progress Series*, 470:55-68. <https://doi.org/10.3354/meps10030>
- Chávez, E.A., J.W. Tunnell & K. Withers, 2007. Zonación y ecología de los arrecifes: Plataforma Veracruzana y Banco de Campeche, pp. 60-100. En: J.W. Tunnell, E.A. Chávez & K. Withers (eds.). *Arrecifes Coralinos del sur del Golfo de México*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur. 360 pp.
- Cutress, C.E. & D.M. Ross, 1969. The sea anemone *Calliactis tricolor* and its association with the Hermit crab *Dardanus venosus*. *Journal of Zoology*, 158:225-241. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1969.tb02143.x>
- Cutress, C.E., D.M. Ross & L. Sutton, 1970. The association of *Calliactis tricolor* with its pagurid, calappid, and majid partners in the Caribbean. *Canadian Journal of Zoology*, 48:371-376. <https://doi.org/10.1139/z70-059>
- Daly, M., A. Chaudhuri, L. Gusmão & E. Rodríguez, 2008. Phylogenetic relationships among sea anemones (Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria). *Molecular Phylogenetics & Evolution*, 48:292-301. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.02.022>
- De la Cruz-Francisco, V., 2013. Estructura de las comunidades macrobentónicas y nectónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz, México. *Tesis Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 110 pp.
- De la Cruz-Francisco, V., M. González-González & L. Flores-Galicia, 2016a. Distribución de los hábitats bentónicos de la laguna del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México. *Revista Investigaciones Marinas*, 36(1):63-78. <http://www.rim.uh.cu/index.php/RIM/article/view/297/290>
- De la Cruz-Francisco, V., M. González-González & I. Morales-Quijano, 2016b. Inventario taxonómico de Hydrozoa (Orden: Anthoathecata) y Anthozoa (Subclases: Hexacorallia y Octocorallia) del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. *CICIMAR Oceanides*, 31(1):23-34. <http://oceanides.ipn.mx/index.php/cicimaroceanides/article/view/157>
- De la Cruz-Francisco, V., R.E. Orduña-Medrano, J.E. Paredes-Flores, R.I. Vázquez-Estrada, M. González-González & L. Flores-Galicia, 2017. Una aproximación a la florística y faunística de la costa rocosa El Pulpo, Cazones, Veracruz, México. *CICIMAR Oceanides*, 32(1): 39-58. <http://oceanides.ipn.mx/index.php/cicimaroceanides/article/view/195/pdf>
- De la Cruz-Francisco, V. & A.E. Bandala-Pérez, 2016. Esponjas y Cnidarios (Hydrozoa y Anthozoa) del arrecife Oro Verde; cobertura bentónica y afinidad faunística con sistemas arrecifales de Veracruz, México. *CICIMAR*

- Oceanides*, 31(2):45-64. <http://oceanides.ipn.mx/index.php/cicimaroceanides/article/view/185/0>
- Den Hartog, J.C., 1980. Caribbean shallow water Corallimorpharia. *Zoologische Verhandelingen*, 176:1-83. <http://www.repository.naturalis.nl/record/317681>
- Dunn, D.F., 1981. The clownfish sea anemones: Stichodactylidae (Coelenterata: Actiniaria) and other sea anemones symbiotic with pomacentrid fishes. *Transactions of the American Philosophical Society*, 71:1-115. <https://doi.org/10.2307/1006382>
- Fautin, D.G. & M. Daly, 2009. Actiniaria, Corallimorpharia, and Zoanthidea (Cnidaria) of the Gulf of Mexico. En: D.L. Felder y D.K. Camp (eds.). pp. 349-357. *Gulf of Mexico: Origin, Waters, and Biota*, vol. 1, Texas A&M University Press, College Station, Texas, pp. 1393.
- Fautin, D.G., 2013. World List of Corallimorpharia. Corallimorpharia. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&cid=1362> on 2018-08-17
- González-González, M., V. De la Cruz-Francisco, I. Morales-Quijano & R.E. Orduña-Medrano, 2016. Diversidad y cobertura de la comunidad bentónica del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 8(2):47-65.
- González-Muñoz, R., N. Simões, J. Sánchez-Rodríguez, E. Rodríguez & L. Segura-Puertas, 2012. First inventory of sea anemones (Cnidaria: Actiniaria) of the Mexican Caribbean. *Zootaxa*, 3556:1-38. <http://mapress.com/jzt/article/view/14503>
- González-Muñoz, R., N. Simões, J.L. Tello-Musi & E. Rodríguez, 2013. Sea anemones (Cnidaria, Anthozoa, Actiniaria) from coral reefs in the southern Gulf of Mexico. *Zookeys*, 341:77-106. <https://doi.org/10.3897/zookeys.341.5816>
- González-Muñoz, R., 2014. *Análisis taxonómico de las especies de anémonas arrecifales (Cnidaria: Anthozoa) del Golfo de México y mar Caribe Mexicano. Caracterización y análisis morfológico y genético de las variaciones intraespecíficas entre los morfotipos de la especie *Phymanthus crucifer* (Le Sueur, 1817)*. Tesis Doctorado, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 192 pp.
- González-Muñoz, R., J.L. Tello-Musi & N. Simões, 2015a. Las anémonas del Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 101-118. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal de Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 pp.
- González-Muñoz, R., N. Simões, J.L. Tello-Musi, J. Sánchez-Rodríguez & E. Rodríguez, 2015b. New records of sea anemones (Cnidaria, Anthozoa, Actiniaria) in the Mexican Caribbean. *Marine Biodiversity Records*, 8:e100. <https://doi.org/10.1017/S1755267215000767>
- González-Muñoz, R., N. Simões, M. Mascaró, J.L. Tello-Musi, M.R. Brugler & E. Rodríguez, 2015c. Morphological and molecular variability of the sea anemone *Phymanthus crucifer* (Cnidaria, Anthozoa, Actiniaria, Actinioidea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 95(1):69-79. <https://doi.org/10.1017/S0025315414000988>
- González-Muñoz, R., A. Garese, J.L. Tello-Musi & F.H. Acuña, 2017. Morphological variability of the Caribbean hidden anemone *Lebrunia coralligena* (Wilson, 1890). *Zoomorphology*, 136:287-297. <https://doi.org/10.1007/s00435-017-0352-0>
- González-Muñoz, R., A. Garese & F.H. Acuña, 2018. *Anthopleura dalyae* sp. nov. (Cnidaria: Actiniaria), a new species of sea anemone from the southern Gulf of Mexico. *Marine Biodiversity*, <https://doi.org/10.1007/s12526-018-0844-2>
- Granados-Barba, A., 1994. *Estudio sistemático de los poliquetos (Annelida: Polychaeta) de la re-*

- gión de plataformas petroleras del sur del Golfo de México. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 284 pp.*
- Gusmão, L.C. & M. Daly, 2010. Evolution of sea anemones (Cnidaria: Actiniaria: Hormathiidae) symbiotic with hermit crabs. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 56:868-877. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2010.05.001>
- Häussermann, V., 2003. Redescription of *Oulactis concinnata* (Drayton in Dana, 1846) (Cnidaria: Anthozoa: Actiniidae), an actiniid sea anemone from Chile and Peru with special fighting tentacles; with a preliminary revision of the genera with a "frond-like" marginal ruff. *Zoologische Verhandelingen*, 345:173-207. <http://www.repository.naturalis.nl/record/220304>
- Jordán-Dahlgren, E., 2002. Gorgonian distribution patterns in coral reef environments of the Gulf of Mexico: evidence of sporadic ecological connectivity? *Coral Reefs*, 21:205-215. <https://doi.org/10.1007/s00338-002-0226-9>
- Jordán-Dahlgren, E., 2008. Arrecifes Coralinos. pp. 163-186. En: L.M. Mejía (eds.) *Biodiversidad Acuática de la Isla de Cozumel*. Plaza y Valdés, México, D.F., Universidad de Quintana Roo. 418 pp.
- Knowlton, N. & B.D. Keller, 1983. A new sibling species of snapping shrimp associated with the Caribbean sea anemone *Bartholomea annulata*. *Bulletin of Marine Science*, 33(2):353-365. <http://www.ingentaconnect.com/contentone/umrsmas/bull-mar/1983/00000033/00000002/art00012>
- Knowlton, N. & B.D. Keller, 1985. Two more sibling species of alpheid shrimps associated with the Caribbean sea anemones *Bartholomea annulata* and *Heteractis lucida*. *Bulletin of Marine Science*, 37(3):893-904. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bull-mar/1985/00000037/00000003/art00009>
- LaJeunesse, T.C., 2002. Diversity and community structure of symbiotic dinoflagellates from Caribbean coral reefs. *Marine Biology*, 141:387-400. <https://doi.org/10.1007/s00227-002-0829-2>
- López-Victoria, M., L.M. Barrios, H. Kraus & L.A. Osorio, 2004. New aspects on the symbiotic relationships between *Dardanus fucusus* (Crustacea: Paguridae), *Calliactis tricolor* (Cnidaria: Hormathiidae) and *Porcellana sayana* (Crustacea: Porcellanidae). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras, INVE-MAR*, 33(1):261-264.
- Mascaró, M., L. Rodríguez-Pestaña, X. Chiappa-Carrara & N. Simões, 2012. Host selection by the cleaner shrimp *Ancylomenes pedersoni*: Do anemone host species, prior experience or the presence of conspecific shrimp matter? *Journal of Marine Biology and Ecology*, 413:87-93. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.11.026>
- Molodtsova, T., 2018. World List of Ceriantharia. Ceriantharia. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=1361> on 2018-08-17
- Olvera-Pérez, I.B., 2010. *Anémonas, Zoantidos y Ascidiás en el Arrecife Lobos, Veracruz. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, México. 44 pp.*
- Reimer, J.D., C. Foord & Y. Irei, 2012. Species diversity of shallow water zoanthids (Cnidaria: Anthozoa: Hexacorallia) in Florida. *Journal of Marine Biology*, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/856079>
- Reimer, J.D. y F. Sinniger, 2018. World List of Zoantharia. Zoantharia. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=607338> on 2018-08-17
- Rodríguez, E., M.S. Barbeitos, M.R. Brugler, L.M. Crowley, A. Grajales, L. Gusmão, V. Häussermann, A. Reft & M. Daly, 2014. Hidden among sea anemones: the first comprehensive phylogenetic reconstruction of the order Ac-

- tiniaria (Cnidaria, Anthozoa, Hexacorallia) reveals a novel group of hexacorals. *PLoS One*, 9(5):e96998 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096998>
- Salazar-Vallejo, S. I., N.E. González & E. Schwindt, 2008. Taxonomía de invertebrados marinos: Necesidades en Latinoamérica. *Inter ciencia*, 33(7):510-517.
- Sebens, K.P. & K. DeRiemer, 1977. Diel cycles of expansion and contraction in coral reef anthozoans. *Marine Biology*, 43:247-256. <https://doi.org/10.1007/BF00402317>
- Sebens, K.P. & R.T. Paine, 1978. Biogeography of anthozoans along the west coast of South America: habitat, disturbance, and prey availability. Symposium on Marine Biogeography and Ecology in the Southern Hemisphere. NZDSIR Auckland, New Zealand, pp. 219-238.
- Sebens, K.P., 1982. Intertidal distribution of zoanths on the Caribbean coast of Panama: Effects of predation and desiccation. *Bulletin of Marine Science*, 1(32):316-335. <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1982/00000032/00000001/art00023>
- Silbiger, N.J. & M.J. Childress, 2008. Interspecific variation in anemone shrimp distribution and host selection in the Florida Keys (USA): Implications for marine conservation. *Bulletin of Marine Science*, 83(2):329-345. <http://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/2008/00000083/00000002/art00004>
- Stampar, S.N., R. González-Muñoz & A.C. Morandini, 2017. *Botruanthus mexicanus* (Cnidaria: Ceriantharia), a new species of tubedwelling anemone from the Gulf of Mexico. *Marine Biodiversity*, 47:113-118. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0521-2>
- Tello-Musi, J.L., R. González-Muñoz, F.H. Acuña & N. Simões, 2018. First record of *Calliactis tricolor* (Le Sueur, 1817) (Cnidaria, Actiniaria, Hormathiidae) in the Veracruz reef system, southwestern Gulf of Mexico. *Checklist*, 14(4):619-631. <https://doi.org/10.15560/14.3.619>
- Torres-Pratts H., T. Lado-Insua, A.L. Rhyne, L. Rodríguez-Matos & N.V. Schizas, 2011. Two distinct, geographically overlapping lineages of the corallimorpharian *Ricordea florida* (Cnidaria: Hexacorallia: Ricordeidae). *Coral Reefs*, 30:391-396. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0709-z>
- Varela, C., M. Ortiz & R. Lalana, 2003. Primer registro de la familia Parazoanthidae y de *Parazoanthus parasiticus* (Cnidaria: Anthozoa: Zoanthiniaria) para aguas cubanas. *Carta Informativa de los Zoólogos de Invertebrados de Cuba*, 13:5.
- Whithers, K. & J.W. Tunnell, 2007. Biodiversidad de los arrecifes. pp. 101-128. En: Tunnell, J. W., E.A. Chávez y K. Withers (eds.). *Arrecifes Coralinos del sur del Golfo de México*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz, Baja California Sur. 360 pp.



Acevedo-Barradas, T.E., A. Granados-Barba y V. Solís-Wolfowitz, 2019. Familias de Anélidos Poliquetos Asociadas a Coral Muerto en Arrecifes del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, p. 157-176. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Familias de Anélidos Poliquetos Asociadas a Coral Muerto en Arrecifes del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

*Tania Evett Acevedo-Barradas<sup>1</sup>, Alejandro Granados-Barba<sup>2,\*</sup>  
y Vivianne Solís-Wolfowitz<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico Superior, Boca del Río

<sup>2</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, Unidad Puerto Morelos, Q. Roo

\*[agranados1@gmail.com](mailto:agranados1@gmail.com)

## RESUMEN

Se realizó un estudio para conocer si la composición de las familias de anélidos poliquetos habitantes de rocas de coral muerto (criptofauna) es similar en todo lo largo del “Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México” (CASGM). Para ello, se consideraron las tres principales zonas arrecifales de dicho corredor como son: El Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT), el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y El Sistema Arrecifal de Los Tuxtlas (SAT), así como arrecifes que representan puntos intermedios entre el SAT y el SAV. Los muestreos se realizaron sobre profundidades de entre 2 y 12 m, recolectando manualmente tres rocas por sitio, de aproximadamente 10 cm<sup>3</sup>, mismas que se colocaron en bolsas de malla de nailon de 0.5 mm para impedir el escape de la macrofauna. Los poliquetos fueron separados de las rocas e identificados hasta el nivel taxonómico de familia. Se recolectaron 31 familias en los 19 sitios de muestreo, siendo Syllidae, Eunicidae y Nereididae, las familias comunes de la criptofauna de la plataforma continental del oeste del golfo de México. Con base en los resultados obtenidos, no se observa un patrón claro en la composición de poliquetos de la criptofauna que distinga a un sistema arrecifal de otro; es decir, que en general existe una similitud en la composición de familias de poliquetos de los grandes sistemas arrecifales, así como de los arrecifes intermedios que se distribuyen en el CASGM.

**Palabras clave:** poliquetos, corredor arrecifal, golfo de México.

## ABSTRACT

A study was carried out to determine if the composition of the families of annelid polychaete inhabitants of dead coral rocks (crypto-fauna) is similar throughout the length of the "Correcifal Corridor of the Southwest Gulf of Mexico" (CASGM). For this, the three main areas were considered as the Lobos Tuxpan Reef System (SALT), the Veracruz Reef System (SAV) and the Los Tuxtlas Reef System (SAT), as well as reefs that are intermediate between the SALT and the SAV. The samples were taken manually between 2 and 12 m deep, collecting rocks of approximately 10 cm<sup>3</sup> per site, which are placed in 0.5 mm nylon mesh bags to prevent the escape of the macrofauna. The polychaetes were separated from the rocks and identified up to the taxonomic level of the family. 31 families were collected in the 19 sampling sites, being Syllidae, Eunicidae and Nereididae, the common families of the crypto-fauna of the west of the Gulf of Mexico. Based on the results that appear, no pattern has been observed, as well as in the polychaete composition of the crypto-fauna that distinguishes one reef system from another; that is, there is a similarity in the composition of the polychaete families of the large reef systems, as well as the intermediate reefs that are distributed in the CASGM.

**Keywords:** Polychaetes; Reef Corridor; Gulf of Mexico.

## INTRODUCCIÓN

Los poliquetos son gusanos con una morfología compleja, lo cual implican un esfuerzo considerable para su correcta identificación taxonómica, lo cual, a menudo requiere de la especialización en este grupo, aumentando el tiempo y los costos en cualquier proyecto que implique trabajar con ellos (Domínguez-Castanedo *et al.*, 2007). Las razones para realizar trabajos con poliquetos a nivel de familia son diversas, pero se relacionan con la alta complejidad de las estructuras que poseen y la a falta de especialistas, así como al pobre estado del conocimiento taxonómico de los anélidos poliquetos en algunas regiones y ambientes como es el caso del estado de Veracruz en México (Granados-Barba, 2011). Una alternativa ha sido el uso de la Suficiencia Taxonómica (ST) propuesta por Ellis (1985) quien indica llevar la identificación de los organismos hasta un nivel taxonómico suficiente para cumplir con los objetivos de un estudio, sin que exista pérdida significativa de información, reduciendo con ello tiempo y costos de los

trabajos de investigación en el monitoreo del bentos. Hay ejemplos en México de investigaciones sobre poliquetos bentónicos que han usado la ST considerando el taxón familia (Méndez & Green, 1998; Rodríguez-Villanueva *et al.*, 2000; Domínguez-Castanedo *et al.*, 2007) que es el nivel taxonómico en el que se han documentado los mejores resultados (Dauvin *et al.*, 2003; Muniz & Pires-Vanin, 2005).

Los poliquetos es un grupo grande de invertebrados marinos, con aproximadamente 16 000 especies conocidas, que conforman el mayor componente biótico de la macroinfauna marina (Rouse & Pleijel, 2001; Báez & Ardila, 2003). Son el grupo más abundante y diverso con relación a los esqueletos de coral, seguido de sipuncúlidos, moluscos y crustáceos (Hutchings & Weater, 1979; Moreno-Forero *et al.*, 1998; Tovar-Hernández, 2000; Yáñez-Rivera, 2004), forman parte de los principales agentes de bioerosión de los arrecifes de coral, lo cual es un factor importan-

te en la morfología del arrecife (Hutchings, 1986); muchos poliquetos se establecen dentro o sobre rocas de coral desde las cuales se alimentan y refugian (Fauchald & Jumars, 1979).

Para el suroeste del golfo de México, en Ortiz-Lozano *et al.* (2013) se propone la presencia de un corredor arrecifal conformado por tres grandes sistemas arrecifales separados

entre sí: Lobos-Tuxpan (SALT), Veracruzano (SAV) y Los Tuxtlas (SAT), a los que se le suman arrecifes intermedios de menor tamaño que estarían acortando las distancias entre ellos permitiendo su conexión y conformando, en su conjunto, el denominado Corredor Arrecifal del sw del Golfo de México (CASGM).

## ANTECEDENTES

Uno de los grupos más abundantes que componen la criptofauna de un arrecife coralino son los poliquetos (Fauchald & Jumars, 1979). En el golfo de México se han realizado estudios diversos sobre el grupo, principalmente de índole taxonómico (Uebelacker & Johnson, 1984; Granados-Barba & Solís-Weiss, 1997a-b; Granados-Barba *et al.*, 2000; 2003; 2015; Fauchald *et al.*, 2009; Domínguez-Castanedo *et al.*, 2012). En cuanto a la criptofauna Ochoa-Rivera (1996) y Granados-Barba *et al.* (2003) estudiaron los poliquetos asociados a arrecifes coralinos del suroeste del golfo de México (banco de Campeche) y del Caribe (Cozumel), encontrando a Eunicidae, Syllidae, Cirratulidae y Amphinomidae, así como a *Eunice cariboea*, *Nematoneis hebes* y *Syllis alosae* como las familias y especies dominantes respectivamente.

Considerando la costa de Veracruz, los trabajos sobre criptofauna en roca coralina son pocos; sin embargo, han ido en aumento: al sur del estado, en el SAT solo existe el trabajo de Dávila-Jiménez (2013), quien encontró que Nereididae, Eunicidae y Syllidae son las familias con mayor abundancia y densidad. En el SAV se registra el mayor número de tra-

bajos con respecto a criptofauna: Jiménez-Cueto (2005), que estudio los síldos del arrecife Enmedio; y Ortega-Pimienta (2005) los evaluó en el arrecife Verde; Marqueda-Mejía (2005) reporta en La Gallega 26 familias y 104 especies; Serpulidae, Syllidae, Eunicidae y Nereididae, así como *Pseudopolydora kemp*, *Polydora websteri* y *Cirratulus cirratulus* resultaron las familias y especies más abundantes, respectivamente. Estrella-Ruiz (2014) determinó la estructura comunitaria en la laguna del arrecife Sacrificios, identificando 20 familias, 39 géneros y 52 especies. Finalmente, en el SALT al norte del estado, también se cuenta con estudios sobre criptofauna poliquetológica (Chávez *et al.*, 1970; Roberts, 1981) destacando Tovar-Hernández (2000) que estudió el orden Phyllodocida en el arrecife Lobos, identificando 7 familias, 19 géneros y 39 especies, siendo Syllidae la familia dominante. Existen trabajos donde se menciona la presencia de poliquetos pero no relacionados a roca de coral muerto (Valdés-Vargas, 2012; De La Cruz-Francisco, 2013; Vázquez-Estrada, 2014).

Con base en lo anterior, el presente estudio, además de integrar la información sobre las

familias de la criptofauna de poliquetos del estado de Veracruz, incrementará el conocimiento en áreas que no se habían muestrea-

do previamente, coadyuvando a consolidar la propuesta del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La información para este estudio provino de dos fuentes, una que corresponde a lo realizado en estudios y colectas previas sobre criptofauna en el área de estudio durante 2000 y 2014, principalmente del Laboratorio de Ecología y Biodiversidad de Invertebrados Marinos del ICML-UNAM y del Laboratorio de Ecología de Ambientes Costeros del ICI-MAP-UV. La segunda fuente corresponde a

colectas realizadas durante 2015 y 2016 para los trabajos de la tesis de Acevedo-Barradas (2017), fuente principal de la información novedosa que se brinda en el presente capítulo. Para la colecta de material, se buscaron rocas de aproximadamente 10 cm de diámetro en los sistemas arrecifales de Veracruz: SALT (norte), SAV (centro) y SAT (sur) y algunos puntos intermedios (figura 1).

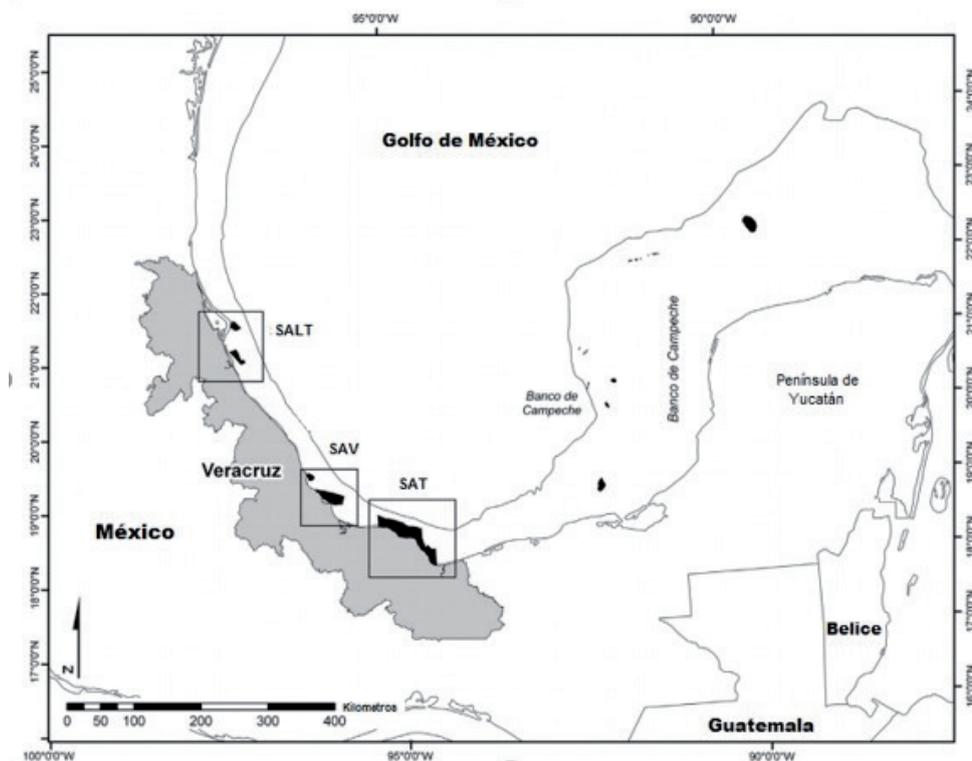


Figura 1. Sistemas arrecifales del CASGM (modificado de Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

Usando la metodología descrita por diversos autores (Roberts, 1981; Ochoa-Rivera, 1996; Tovar-Hernández, 2000; Marqueda-Mejía, 2005), se estudiaron rocas recolectadas en 20 arrecifes dentro del corredor arrecifal: Lobos (LBS), Tuxpan (TXP), Anegada de Afuera (ANF), Anegada de Adentro (AND), Verde (VRD) Laja1 (LJ1), Laja2 (LJ2), Enmedio (EMD), Gallega (GLL), Giotte (GTE), Hornos (HOR), Ingenieros (ING), Sacrificios (SAF), Montepío (MPO), Punta Gorda (PNG), La Perla del Golfo (LPG), Barco Viejo (BVJ), Jicacal (JCL), Balzapote (BZT) y Zapotitlán (ZPT).

La recolección de las rocas se realizó manualmente mediante buceo libre y autónomo según fue necesario, seleccionando rocas de coral muerto, con atributos como muerte antigua, porosidad, cubiertas por escaso o poco sedimento, alejadas de zonas de pastos marino (en el caso de los arrecifes litorales) y desprendidas del coral. Se recolectaron tres rocas de aproximadamente 10x10x10 cm las cuales se colocaron inmediatamente en una malla de nailon de 0.5 mm para impedir el escape de la macrofauna recolectada.

Las rocas recolectadas se colocaron en una cubeta con agua dulce para provocar un choque osmótico en los organismos que las habitan y propiciar la salida de sus galerías. Enseguida, se colocaron en una solución de formaldehído al 10% por 48 h para su fijación (Tovar-Hernández, 2000; Marqueda-Mejía,

2005). De cada roca se obtuvo: largo, ancho y alto (con vernier), peso (con balanza digital Intercomp modelo CS200), y volumen (por desplazamiento de agua en una cubeta). Posteriormente, las rocas se fragmentaron con martillo y cincel para extraer los organismos que aún se encontraban adentro de las galerías, en caso de encontrarse sedimento (arena, fango, lodo) dentro de las rocas, este fue colocado en un tamiz de 0.05 mm para separar organismos de la macrofauna que pudieran encontrarse en el sedimento.

Para su preservación y almacenamiento, el material biológico recolectado se colocó en frascos con alcohol al 70% que incluían una etiqueta con los datos de colecta (número de roca, fecha, lugar de colecta, colector y nombre de la campaña de colecta).

Los organismos se separaron al microscopio estereoscópico marca Olympus SZ-CTV en taxones mayores (moluscos, crustáceos, esponjas, poliquetos, equinodermos) y los anélidos poliquetos se identificaron al microscopio hasta el nivel de familia mediante el uso de claves (Fauchald, 1977; Uebelacker & Johnson, 1984; de León-González *et al.*, 2009).

Con uso del programa PRIMER 5. Ver. 5.2.8 se creó una matriz de datos de similitud y se utilizaron los datos de presencia-ausencia para obtener los resultados acerca de las similitudes en cuanto a la composición de familias de poliquetos en los diferentes arrecifes donde se realizaron los muestreos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron un total de 31 familias en 20 sitios de muestreo, donde Eunicidae, Syllidae y Nereididae fueron las más comunes con pre-

sencia en 19 sitios, mientras que Pilargidae, Onuphidae, Goniadidae, y Dorvilleidae, las familias menos comunes presentándose solo

en un arrecife. Encontrar comunes a eunícidos, sílidos y neréididos es recurrente en los ambientes arrecifales con esqueletos de coral muerto en las aguas mexicanas del golfo de México y Mar Caribe mexicanos (Ochoa-Rivera, 1996; Yáñez-Rivera, 2004; Estrella-Ruiz, 2014).

A continuación, se presentan una clave taxonómica de familias de poliquetos registradas en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Las familias que no se recolectaron en este trabajo pero que han sido reportadas para el suroeste del golfo se marcan como (N/E) que significa No Encontradas en este estudio:

**CLAVE TAXONÓMICA DE FAMILIAS DE POLIQUETOS DE LA CRIPTOFAUNA DEL CASGM**

- 1a.- Dorso con élitros o escamas que cubren parte o todo el cuerpo; en ocasiones se caen, pero se observan las cicatrices de ellos a un lado de las bases de los notópodos..... 2
- 1b.- Dorso sin élitros o cicatrices de los mismos..... 5
- 2a(1a).- Acículas neuropodales con la región terminal en forma de martillo horizontal  
..... (N/E) **EULEPETHIDAE**
- 2b(1a).- Acículas neuroacículas con la región terminal puntiagudas (no en forma de martillo); prostomio con 1-3 antenas; notosetas dirigidas lateralmente, nunca en forma de arpón  
..... 3
- 3a(2b).- Neurosetas compuestas; todos los segmentos posteriores con élitros  
..... **SIGALIONIDAE**
- 3b(2b).- Neurosetas simples..... 4
- 4a(3b).- Antena media que surge del margen anterior del prostomio; sin glándulas hiladoras  
..... **POLYNOIDAE**
- 4b(3b).- Antena media, cuando aparece, no surge del margen anterior del prostomio; con glándulas hiladoras..... (N/E) **ACOETIDAE**
- 5a(1b).- Notópodos con setas doradas esanchadas (paleas) que cubren parcialmente el dorso; prostomio con tres antenas..... **CHRYSOPETALIDAE**
- 5b(1b).- Notópodos sin setas doradas obvias ensanchadas..... 6
- 6a(5b).- Región posteroventral cubierta por un escudo obvio quitinizado rojizo  
..... (N/E) **STERNASPIDAE**
- 6b(5b).- Sin escudo quitinizado posterior..... 7
- 7a(6b).- Prostomio rodeado completamente por el peristomio o segmento tentacular que lleva dos setas aciculares gruesas; parápodos reducidos, en ocasiones sin setas en organismos adultos..... (N/E) **PISIONIDAE**

<b>7b(6b).</b> - Prostomio no rodeado por el peristomio.....	8
<b>8a(7b).</b> - Porción anterior cubierta por una o varias setas largas especializadas, también pueden formar un opérculo o desarrollar paleas (setas grandes protectoras a manera de espinas).....	9
<b>8b(7b).</b> - Porción anterior sin setas excepcionalmente largas, sin paleas.....	12
<b>9a(8a).</b> - Setas especializadas formando una caja cefálica; cuerpo con papilas epiteliales numerosas y generalmente cubierto por arena, segmentación externa inconspicua.....	
	<b>FLABELLIGERIDAE</b>
<b>9b(8a).</b> - Setas especializadas anteriores no forman una caja cefálica (segmentación externa conspicua).....	10
<b>10a(9b).</b> - Con setas especializadas anteriores gruesas, doradas y rígidas (a manera de espinas) que rodean el opérculo.....	11
<b>10b(9b).</b> - Setas especializadas o paleas que en conjunto forman un abanico o un ramillete; con 1-4 pares de branquias arregladas en dos grupos; con tentáculos orales retráctiles ( <i>en parte</i> ).....	(N/E) <b>AMPHARETIDAE</b>
<b>11a(10a).</b> - Setas especializadas arregladas en una hilera trasversal; pedúnculo opercular no dividido.....	(N/E) <b>PECTINARIIDAE</b>
<b>11b(10b).</b> - Setas especializadas arregladas una a tres en hileras en forma de abanico; pedúnculo opercular dividido.....	<b>SABELLARIIDAE</b>
<b>12a(8b).</b> - Porción anterior, incluyendo parte del prostomio, trasformada en una corona tentacular.....	13
<b>12b(8b).</b> - Porción anterior con apéndices, pero no trasformada en una corona tentacular.....	15
<b>13a(12a).</b> - Con membrana torácica; con un radiolo modificado en un opérculo; tubo calcáreo; más de cuatro setígeros torácicos; cuerpo simétrico.....	<b>SERPULIDAE</b>
<b>13b(12a).</b> - Sin membrana torácica; sin opérculo; tubo mucoide o córneo.....	14
<b>14a(13b).</b> - Uncinos arreglados en una o varias hileras; tórax con ganchos en la mayoría de los setígeros; corona tentacular grande.....	<b>SABELLIDAE</b>
<b>14b(13b).</b> - Uncinos arreglados en pequeñas masas únicamente en el neurópodo; corona tentacular pequeña.....	<b>OWENIIDAE</b>
<b>15a(12b).</b> - Setígero 4 con una o varias espinas gruesas; algunos parápodos medios claramente modificados, ensanchados, en forma de abanico o de copa.....	<b>CHAETOPTERIDAE</b>
<b>15b(12b).</b> - Setígero 4 sin espinas gruesas; parápodos medios, si están modificados, no se presentan en forma de abanico.....	16

<b>16a(15b).</b> - Tentáculos numerosos en la parte baja del prostomio o en la región bucal; branquias, cuando se presentan, sólo están en unos cuantos setígeros anteriores.....	17.
<b>16b(15b).</b> - Región anterior con un número limitado de apéndices como antenas y cirros tentaculares, o ausentes.....	19.
<b>17a(16a).</b> - Branquias lisas y digitiformes (a veces bipinadas, lameladas, o sólo sus cicatrices) arregladas en dos grupos de 1-4 pares sobre el dorso en la región anterior; con tentáculos orales retráctiles... ( <i>en parte</i> ).....	(N/E) <b>AMPHARETIDAE</b>
<b>17b(16a).</b> - Branquias, cuando se presentan, son sésiles o con pedúnculo o tallo, ramificadas o con numerosos filamentos (rara vez lisas), están arregladas en 2-3 segmentos anteriores sucesivos; tentáculos orales no retráctiles.....	18.
<b>18a(17b).</b> - Uncinos torácicos con manubrio largo; uncinos abdominales con manubrio corto.....	(N/E) <b>TRICHOBRANCHIDAE</b>
<b>18b(17b).</b> - Todos los uncinos con manubrio corto, a veces con una prolongación posterior en los uncinos torácicos.....	<b>TEREBELLIDAE</b>
<b>19a(16b).</b> - Prostomio con, al menos, dos antenas; peristomio generalmente con palpos en pares o cirros tentaculares.....	20.
<b>19b(16b).</b> - Prostomio sin apéndices o con una antena; peristomio con un par de palpos, máximo dos pares de cirros tentaculares, o sin apéndices.....	36.
<b>20a(19a).</b> - Prostomio sin una prolongación posterior o carúncula; notosetas, si están presentes son pequeñas, o en su caso, únicamente son setas furcadas.....	22.
<b>20b(19a).</b> - Prostomio con carúncula.....	21.
<b>21a(20b).</b> - Notosetas arregladas en ramilletes sobre los lóbulos notopodales; branquias arregladas en ramilletes.....	<b>AMPHINOMIDAE</b>
<b>21b(20b).</b> - Notosetas arregladas en hileras transversales sobre el dorso; branquias más cortas que las setas... (N/E) <b>EUPHROSINIDAE</b>	
<b>22a(20a).</b> - Sin palpos; parápodos con setas y/o acículas.....	23.
<b>22b(20a).</b> - Con palpos, pueden ser libres y divididos, a veces son como cojinetes ventrolaterales sobre el peristomio, o están fusionados a la porción posterior del prostomio.....	29.
<b>23a(22a).</b> - Prostomio largo y cónico, generalmente anillado y con dos pares de antenas cortas en la punta; faringe retráctil muy larga.....	24.
<b>23b(22a).</b> - Prostomio no más del doble de ancho que de largo, nunca anillado, antenas largas o cortas.....	25.
<b>24a(23a).</b> - Faringe con 4 maxilas cruzadas (a veces se ven a través del cuerpo); parápodos, todos birrámeos o todos unirrámeos.....	<b>GLYCERIDAE</b>

- 24b(23a).- Faringe con más de 4 maxilas (chevrone) arregladas en una columna basal, o ausentes; los parápodos anteriores unirrámeos, los posteriores birrámeos..... **GONIADIDAE**
- 25a(23b).- Con aparato mandibular compuesto por varias piezas maxilares con hileras de denticulos..... (*en parte*)..... **DORVILLEIDAE**
- 25b(23b).- Sin aparato mandibular; con más de dos antenas; ojos, si existen, nunca sobresalen del prostomio..... 26
- 26a(25b).- Dorso cubierto por papilas grandes y macrotubérculos; prostomio con cuatro a seis antenas laterales y una antena media..... (N/E) **SPHAERODORIDAE**
- 26b(25b).- Dorso sin papilas grandes, ni macrotubérculos..... 27
- 27a(26b).- Cirros dorsales largos y foliosos..... **PHYLLODOCIDAE**
- 27b(26b).- Cirros dorsales, si están presentes, son cirriiformes; con setas simples y compuestas; prostomio con 4 antenas..... 28
- 28a(27b).- Cirros o branquias interramales entre los noto- y neurópodo; todas las setas simples..... (N/E) **NEPHTYIDAE**
- 28b(27b).- Sin cirros interramales, ni branquias; con notosetas simples y neurosetas compuestas..... (N/E) **PARALACYDONIIDAE**
- 29a(22b).- Palpos bi- o multiarticulados..... 30
- 29b(22b).- Palpos simples, algunas veces fusionados al prostomio, o formando cojinetes ventrolaterales sobre el peristomio..... 32
- 30a(29a).- Palpos biarticulados; con al menos un par de cirros tentaculares..... 31
- 30b(29a).- Palpos multiarticulados; sin cirros tentaculares..... (*en parte*) **DORVILLEIDAE**
- 31a(30a).- Faringe con dos maxilas; superficie de la faringe lisa o con paragnatos y/o papilas agrupados en diferentes secciones; parápodos generalmente birrámeos..... **NEREIDIDAE**
- 31b(30a).- Faringe generalmente sin maxilas, ni paragnatos o papilas en su superficie, sólo con un círculo de papilas terminales; parápodos frecuentemente subbirrámeos o unirrámeos..... **HESIONIDAE**
- 32a(29b).- Con dos palpos labiales como cojinetes ventrolaterales sobre el peristomio y dos palpos frontales digitiformes (parecen antenas); con cinco antenas..... **ONUPHIDAE**
- 32b(29b).- Con dos palpos fusionados anteriormente al prostomio, o como proyecciones ventrolaterales libres; con cinco antenas como máximo..... 33
- 33a(32b).- Palpos como proyecciones ventrolaterales libres, a veces fusionados entre sí..... 34
- 33b(32b).- Palpos fusionados al prostomio..... 35
- 34a(33a).- Con mandíbulas y/o maxilas..... (*en parte*)..... **DORVILLEIDAE**

34b(33a).- Sin mandíbulas y/o maxilas; parápodos no prolongados; acícula corta; generalmente con un proventrículo en la parte anterior del tracto digestivo.....	<b>SYLLIDAE</b>
35a(33b).- Faringe retráctil, si se presenta, no armada con estructuras maxilares.....	<b>PILARGIDAE</b>
35b(33b).- Faringe retráctil con 4-6 pares de maxilas; con 1-5 antenas.....	<b>EUNICIDAE</b>
36a(19b).- Apéndices, si se presentan, no se encuentran en el prostomio ni en el peristomio.....	37
36b(19b).- Prostomio con una sola antena media, o peristomio y/o prostomio con palpos pareados o cirros tentaculares.....	52
37a(36a).- Con palpos pareados en uno de los primeros segmentos posperistomiales; setas simples aserradas o lisas, algunas como espinas o con la punta modificada; con filamentos branquiales numerosos en todo el cuerpo. (a veces se caen) ( <i>en parte</i> ).....	<b>CIRRATULIDAE</b>
37b(36a).- Sin palpos pareados.....	38
38a(37b).- Con un palpo o tentáculo mediodorsal anterior largo (puede caerse).....	<b>(N/E)COSSURIDAE</b>
38b(37b).- Sin palpo o tentáculo mediodorsal.....	39
39a(38b).- Con una serie de filamentos tentaculares dorsales anteriores; con filamentos branquiales a lo largo del cuerpo (frecuentemente se caen y quedan sus cicatrices) ( <i>en parte</i> ).....	<b>CIRRATULIDAE</b>
39b(38b).- Sin filamentos tentaculares y/o branquiales, o si se presentan, están limitados a unos pocos segmentos.....	40
40a(39b).- Parápodos reducidos; todas las setas simples, algunas formando cámaras internas; sin setas capilares; cuerpo no claramente regionalizado (generalmente cubierto de arena); sin otras estructuras además de parápodos reducidos y papilas.....	<b>FLABELLIGERIDAE</b>
40b(39b).- Parápodos bien desarrollados o, al menos, como bordes o pliegues; setas de diferentes clases, incluyendo en muchos casos setas capilares.....	41
41a(40b).- Prostomio como una placa cefálica oblicua generalmente rodeada por un realce; las setas incluyen espinas, uncinos rostrados y capilares lisos o espinosos; segmentos generalmente alargados (como el bambú). ( <i>en parte</i> ).....	<b>MALDANIDAE</b>
41b(40b).- Prostomio puntiagudo, redondeado o romo.....	42
42a(41b).- Cuerpo dividido en tórax y abdomen por llevar diferentes tipos de setas o por cambiar de forma los parápodos.....	43
42b(41b).- Cuerpo no dividido en dos regiones.....	44

43a (42a).- Tórax con parápodos laterales, abdomen con los parápodos en posición parcial o totalmente dorsal.....	<b>ORBINIIDAE</b>
43b(42a).- Todos los parápodos laterales; notópodos generalmente reducidos en segmentos posteriores.....	45
44a(42b).- Setas capilares en tórax y a veces en los primeros segmentos abdominales; branquias, si se presentan, son retráctiles en el abdomen.....	<b>CAPITELLIDAE</b>
44b(42b).- Setas capilares en setígeros torácicos, medios y a veces en los posteriores; branquias como simples filamentos, no retráctiles.....	<b>(N/E)ARENICOLIDAE</b>
45a(43b).- Con un aparato mandibular complejo.....	46
45b(43b).- Sin aparato mandibular complejo.....	48
46a(45a).- Maxilas numerosas, cada una de ellas compuesta por una serie de pequeños denticulos. ( <i>en parte</i> ).....	<b>DORVILLEIDAE</b>
46b(45a).- Maxilas de una sola pieza.....	47
47a(46b).- Con ganchos cubiertos simples o compuestos y de bi- a multidentados en algunos setígeros.....	<b>LUMBRINERIDAE (=LYSARETIDAE)</b>
47b(46b).- Sin ganchos cubiertos; con o sin espinas gruesas; con o sin mandíbula.....	<b>OENONIDAE (INCLUYE ARABELLIDAE)</b>
48a(45b).- Con branquias en un máximo de 20 segmentos, iniciando a partir de los setígeros 4-10; con o sin antena media (a veces se presentan dos) ( <i>en parte</i> ).....	<b>(N/E) PARAONIDAE</b>
48b(45b).- Branquias, si se presentan, limitadas a la región anterior, o dispersas sobre una gran parte del cuerpo.....	49
49a(48b).- Las setas incluyen espinas, uncinos rostrados y capilares lisos o espinosos; segmentos generalmente alargados. (como bambú). ( <i>en parte</i> ).....	<b>MALDANIDAE</b>
49b(48b).- Setas de otra forma, sin falcígeros bífidos o bidentados; segmentos, en raras ocasiones alargados.....	50
50a(49b).- Prostomio como un cono alargado, generalmente más del doble de largo que ancho.....	51
50b(49b).- Prostomio redondeado o puntiagudo, no alargado; cirros, si se presentan, son cirriformes; sólo setas simples capilares; con o sin branquias cirriformes o pectinadas.....	<b>OPHELIIDAE</b>
51a(49a).- Faringe con 4 maxilas cruzadas (generalmente se ven a través del cuerpo); todos los parápodos birrámeos o todos unirrámeos.....	<b>GLYCERIDAE</b>

<b>51b(49a).</b> - Faringe con más de 4 maxilas (chevrone) arregladas en una columna basal, o ausentes; parápodos anteriores unirrámeos, los posteriores birrámeos.....	<b>GONIADIDAE</b>
<b>52a(36b).</b> - Prostomio con una antena media, a veces es bífida.....	53
<b>52b(36b).</b> - Prostomio sin apéndices; sin cirros tentaculares; con setas simples; con uncinos arreglados en una sola hilera, o ausentes.....	55
<b>53a(52a).</b> - Con branquias en un máximo de 20 segmentos, a partir de los setígeros 4-10 ( <i>en parte</i> ).....	<b>(N/E) PARAONIDAE</b>
<b>53b(52a).</b> - Branquias distribuidas de otra forma o ausentes.....	54
<b>54a(53b).</b> - Cirro notopodial en forma de botella en algunos setígeros; con setas plumosas.....	<b>POECILOCHAETIDAE</b>
<b>54b(53b).</b> - Cirro notopodial cirriforme o folioso; sin setas plumosas ( <i>en parte</i> ).....	<b>SPIONIDAE</b>
<b>55a(52b).</b> - Prostomio ancho, aplanado en forma de espátula, con o sin cuernos frontales.....	<b>(N/E)MAGELONIDAE</b>
<b>55b(52b).</b> - Prostomio no aplanado, de otra forma.....	56
<b>56a(55b).</b> - Parápodos inconspicuos; región abdominal con segmentos alargados, con setas que rodean el cuerpo a manera de cinturones.....	<b>(N/E) HETEROSPIONIDAE</b>
<b>56b(55b).</b> - Parápodos abdominales no alargados con setas que no rodean el cuerpo; sólo parápodos birrámeos (con la posible excepción del primero); pueden presentar uncinos; notópodos con setas y acícula; con o sin branquias.....( <i>en parte</i> ).....	<b>SPIONIDAE</b>

## ANÁLISIS DE DATOS

Los arrecifes con mayor riqueza de familias fueron Enmedio y Verde, que son islas del SAV que han sido muy estudiadas debido a la cercanía y facilidad de acceso a ellas (Ortiz-Lozano, 2006). Por su parte, los arrecifes con menor presencia de familias de poliquetos fueron Montepío y La Perla del Golfo y la razón se relaciona con la dureza del material de la roca debido a la cercanía con la zona volcánica de Catemaco.

Un análisis de conglomerados o clúster, utilizando los datos de ausencia y presencia de las familias de poliquetos, generó el den-

drograma que se muestra en la figura 2 cuyo arreglo permite observar una conformación de dos grupos. Uno de ellos, el Grupo 1, que contiene a los arrecifes con mayor riqueza de familias principalmente pertenecientes al SAV ya que incluye al arrecife Lobos. El Grupo 2 contiene a los arrecifes con valores intermedios a bajos de riqueza de familias de todos los sistemas arrecifales. Asimismo, puede observarse que esta conformación se relaciona también con la lejanía o cercanía a la línea de costa de los diferentes arrecifes.

Al analizar el resultado mediante la ordenación del MDS de la figura 3, se observa el arre-

Tabla 1. Presencia de familias de poliquetos en cada arrecife.

Familia/Sitio	LBS	TXP	VRD	ANF	AND	LJI	LI2	EMD	GLL	GTE	HOR	ING	SAF	MPO	PNG	LPG	BVJ	JCL	BZT	ZPT
Amphinomidae	X	X	X		X		X	X	X	X	X		X							
Aphroditidae	X																			X
Capitellidae	X			X	X			X			X							X		
Chaetopteriidae								X					X							
Chrysopetalidae	X		X		X		X	X	X	X		X						X	X	
Cirratulidae	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X			X				X
Dorvilleidae								X												
Eunicidae	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Flabelligeridae	X	X	X	X	X														X	X
Glyceridae	X							X			X									X
Goniadidae		X																		
Hesionidae	X	X	X	X			X	X	X		X									X
Lumbrineridae		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X					X		X
Maldanidae								X	X											
Nereididae	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Oeononidae	X		X		X		X	X	X	X	X									
Onuphidae																				X

Tabla 1. Presencia de familias de poliquetos en cada arrecife.

Familia/Sitio	LBS	TXP	VRD	ANF	AND	L1I	L12	EMD	GLL	GTE	HOR	ING	SAF	MPO	PNG	LPG	BJJ	JCL	BZT	ZPT
Opheliidae	X		X	X	X		X													
Orbiniidae			X	X	X	X		X	X		X		X							
Oweniidae									X	X										
Phyllococidae	X	X	X	X	X			X												
Pilargidae		X																		
Poecilochaetidae											X									X
Polynoidae	X		X	X	X			X	X											
Sabellariidae			X		X	X	X		X		X		X							
Sabellidae		X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Serpulidae	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sigalionidae		X						X	X		X		X				X	X		X
Spionidae			X					X	X		X		X							
Syllidae	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Terebellidae	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

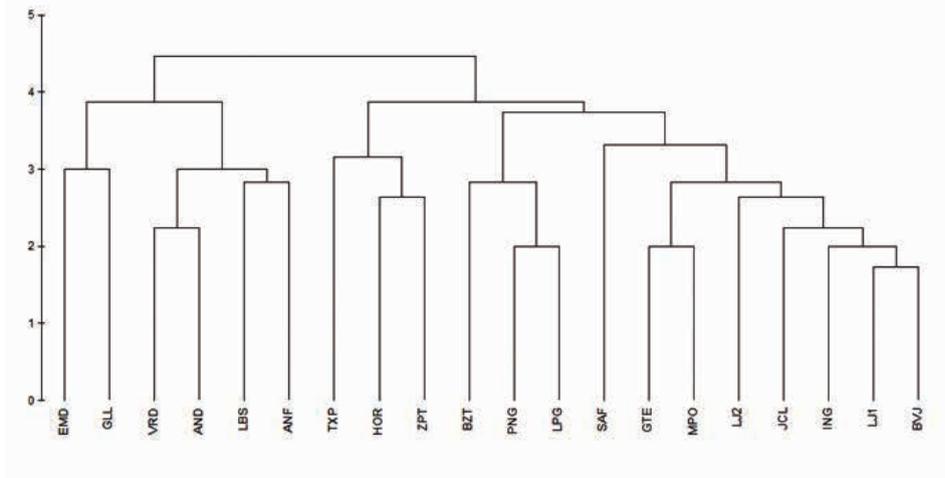


Figura 2. Dendrograma que agrupa localidades con respecto a presencia de familias.

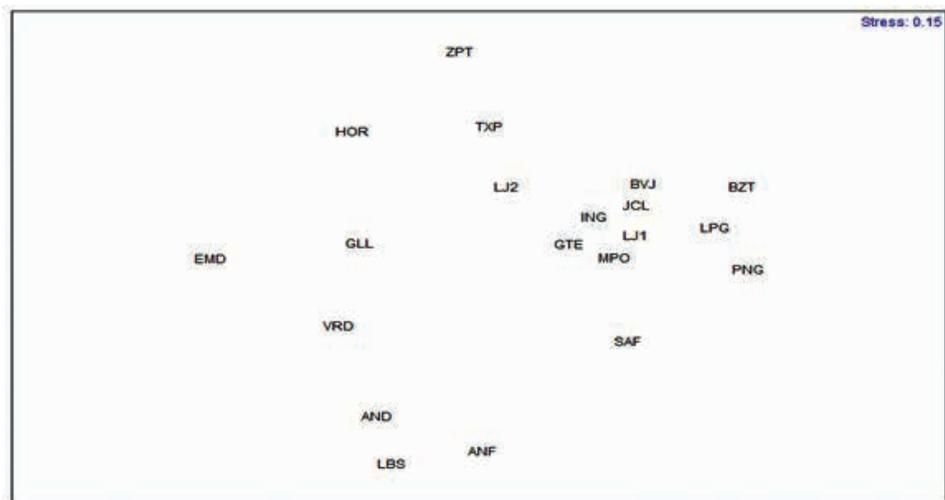


Figura 3. Ordenación MDS con base en presencia/ausencia de familias en las localidades.

glo de las localidades que es consistente con lo antes mencionado, tanto en la horizontal en términos de la riqueza de familias con el arrecife Enmedio (EMD) con 22 familias, y Monte Pío (MPO) con 2, como en la diagonal con los arrecifes cuyos muestreos se realizaron cerca del litoral (Balzapote, Ingenieros, Giotte, Lajas 1 y 2), versus los que están alejados del mismo (anegadas de Adentro y de Afuera, Verde y Lobos), con sus excepciones.

De acuerdo al ANOSIM, los grupos de arrecifes estudiados comparten una composición de familias similar de manera que, en lo general, no los hace diferentes entre ellos a pesar de su ubicación geográfica, tanto en el Global (R:-0.148; n.s: 60.9 %); como en los pareados SALT-SAV (R:0.115; n.s: 27.5 %); SALT-SAT (R:0.427; n.s:14.3 %); SAV-SAT (R:-0.136; n.s: 88.8 %).

Las familias con mayor presencia en sustratos rocosos fueron Syllidae, Eunicidae y Nereididae, lo cual ha sido registrado en trabajos previamente realizados en roca coralina para las costas del estado de Veracruz (Tovar-Hernández, 2000; Ortega-Pimienta, 2005; Marqueda-Mejía, 2005; Dávila-Jiménez, 2013). Diferentes poliquetos pueden horadar las rocas moliendo mecánicamente el sustrato con su conjunto de dientes bien desarrollados (Hutchings, 1986). La familia Syllidae y su éxito entre la criptofauna se debe a que toman ventaja de las grietas y hendiduras existentes en las rocas para ocultarse en ellas (Granados-Barba *et al.*, 2003). En el caso de Eunicidae, ésta se caracteriza por ser una familia excavadora que forma galerías en los fragmentos de coral muerto cubriendo las paredes de mucus, o pueden estar fijos en fisuras de rocas, esponjas y corales (Fauchald & Jumars, 1979). Los Nereididae, además de lograr perforar las

rocas de coral muerto e introducirse a ellas, también pueden anidar dentro de las fisuras hechas en la roca por otros organismos (Fauchald & Jumars, 1979).

La presencia de familias como sigaliónidos o polinóidos, que habitan los sedimentos o son frecuentes en los fondos blandos se debe a que la criptofauna arrecifal vive en estrecha relación con el sustrato coralino y de su presencia depende el establecimiento y desarrollo de sus especies (Hutchings, 1986), ya que atributos en las rocas como la porosidad o presencia de algas les proveen de alimento y protección ante depredadores (Ochoa-Rivera, 1996; Vázquez-Estrada, 2014). En muchos casos el sitio de colecta y el tipo de roca, así como los atributos de ésta, puede influir en el número y tipo de organismos obtenidos por muestra, y en ocasiones, la inserción de sedimentos blandos en las galerías de la roca da lugar a que se presenten organismos de sustratos arenosos o que no podrían considerarse propiamente de sustratos rocosos. Tal es el caso de Sigalionidae y Polynoidae que son familias comúnmente reportadas en muestreos de rocas de coral muerto.

Al comparar la presencia de familias de poliquetos entre los tres sistemas, se presenta al SAV como el de mayor número de familias con respecto a los otros dos sistemas (SAT y SALT); Trabajos como el de Escárcega-Quiroga (2014) presentan información sobre la relación y diferencias a nivel de especies de equinodermos, de los arrecifes Blanquilla, Medio, Lobos, Tanhuijo, Tuxpan y Blake (SALT); La Blanquilla, Verde, Sacrificios, Hornos, Enmedio y Santiaguillo (SAV); la Perla del Golfo, Zapotitlán, Palo Seco y Tripic (SAT).

La idea de un corredor arrecifal (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013) se ha convertido en una

realidad al encontrar más arrecifes intermedios entre los sistemas arrecifales más grandes (Ortiz-Lozano *et al.*, 2018), con lo cual las distancias entre estos sistemas se acortan y hacen que el intercambio entre ellos sea con mayor posibilidad. En este estudio, solo se incluyeron algunos de los arrecifes intermedios que por su cercanía fue posible recolectar.

Otro planteamiento dentro de la propuesta del CASGM es que, debido a su tamaño y número de estructuras arrecifales, el SAV estaría conformándose como el gran sistema que mantiene la diversidad biológica arrecifal en el oeste del golfo de México (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). Lo observado en este estudio con datos de presencia/ausencia de familias de poliquetos, solo permite destacar que si existe similitud en la composición de familias de los arrecifes del SAV con los demás arrecifes de menor tamaño (figura 3), sea por estar

ubicados lejos del litoral como las anegadas de Adentro y de Afuera con Lobos de Tuxpan, o por estar cerca del litoral como Giotte e Ingenieros con las Lajas 1 y 2 y la mayoría de los arrecifes de Los Tuxtlas. Al respecto, Vera-Hidalgo (2007) ya había observado en el arrecife Hornos del SAV que la distancia a la costa era un aspecto importante en relación a la composición de familias de poliquetos.

Es fundamental generar más información sobre los poliquetos asociados a rocas coralinas, ya que estos forman parte importante de los arrecifes, al lograr establecerse en ellos y realizar bioturbación en estos ambientes, también por tener un gran éxito para establecerse en casi cualquier sustrato y propiciar la colonización de otros taxones asociados a roca coralina, incrementando la diversidad regional.

## CONSIDERACIONES FINALES

Este es el trabajo sobre criptofauna con más arrecifes, 20, considerados en su estudio para el golfo de México, registrando 31 familias dentro de las cuales Eunicidae, Syllidae y Nereididae fueron las más comunes, como ha sucedido en los ambientes arrecifales de las aguas mexicanas del golfo de México y Mar Caribe mexicanos. Pilargidae, Onuphidae, Goniadidae, y Dorvilleidae son las menos comunes.

Los arrecifes del SAV son los más estudiados y también son los que registran un mayor número de familias, mientras que los menos estudiados y los de menor número son los de la región de Los Tuxtlas.

La composición de familias es similar en todos los arrecifes del corredor arrecifal del suroeste del golfo de México, principalmente si se consideran las familias predominantes y los arrecifes cercanos a la costa o litoral.

## LITERATURA CITADA

- Báez, D.P. & N.E. Ardila. 2003. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) del Mar Caribe colombiano. *Biota Colombiana*, 4(1):89-109.
- Chávez, E., E. Hidalgo & M.L. Sevilla, 1970. Datos acerca de las comunidades bentónicas del arrecife Lobos, Veracruz. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 31:211-281.
- Dauvin, J.C., J.L. Gómez-Gesteira & M. Salvandera-Fraga, 2003. Taxonomic sufficiency: an overview of its use in the monitoring of sublittoral benthic communities after oil spills. *Marine Pollution Bulletin*, 46:552-555.
- Dávila-Jiménez, Y., 2013. Estructura comunitaria de la fauna poliquetológica en la zona rocosa intermareal de Montepío, Veracruz. *Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM*. CDMX. México. 56 pp.
- De La Cruz-Francisco, V., 2013. Estructura de las comunidades macrobentónicas y neotónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz, México. *Tesis Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana*. Tuxpan, Veracruz, México. 109 pp.
- De León-Gonzales, J., R. Bastida-Zavala, L. Carrera-Parra, M. García-Garza, A. Peña-Rivera, S. Salazar-Vallejo & V. Solís-Weiss, 2009. *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México y América tropical*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 737 pp.
- Domínguez-Castanedo, N., A. Granados-Barba, P. Hernández-Alcántara, R. Rojas-López & V. Solís-Weiss, 2007. The use of higher taxa to assess the benthic conditions in the southern Gulf of Mexico. *Marine Ecology*, 28(1):161-168.
- Domínguez-Castanedo, N., P. Hernández-Alcántara, V. Solís-Weiss & A. Granados-Barba, 2012. Distribution of polychaete feeding guilds in sedimentary environments of the Campeche Bank, southern Gulf of México. *Helgoland Marine Research*, 66:469-478.
- Ellis D., 1985. Taxonomic sufficiency in pollution assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 16:459.
- Escárcega-Quiroga, P., 2014. Equinodermos asociados a los arrecifes de cinco regiones marinas prioritarias de Veracruz (Golfo de México occidental): composición y distribución. *Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana*, Tuxpan. Veracruz. México 51 pp.
- Estrella-Ruiz, A., 2014. Estructura de la comunidad de anélidos poliquetos de cuatro ambientes de la laguna del arrecife Sacrificios, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM*. CDMX. México. 79 pp.
- Fauchald, K., 1977. *The polychaete worms. Definitions and keys to the orders, families and genera*. Natural History Museum of Los Angeles County and the Allan Hancock foundation, University of Southern California. Los Angeles, CA., USA. 188 pp.
- Fauchald, K. & P.A. Jumars, 1979. The diet of worms: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanography & Marine Biology an Annual Review*, 17:193-284.
- Fauchald, K., A. Granados-Barba & V. Solís-Weiss, 2009. Polychaeta (Annelida) of the Gulf of Mexico. Chpt. 37, Pp. 751-788. In: Felder, D.F. & D.K. Camp. Gulf of Mexico -Its Origins, Waters and Biota-. Vol. Biota. Texas A&M University Press, College Station, Texas. 1312 pp
- Granados-Barba, A. & V. Solís-Weiss, 1997a. Polychaetous annelids of the oil platform areas from the southeastern Gulf of Mexico: Orbiniidae and Cossuridae. *Bulletin of Marine Science*, 61(3):549-557.
- Granados-Barba, A. & V. Solís-Weiss, 1997b. The Polychaetous annelids from oil platform areas in the southeastern Gulf of Mexico: Phyllococidae, Glyceridae, Goniadidae, Hesionidae, and Pilargidae, whit description of *Ophioglycera lyra* a new species, and comments on

- Goniada distorta* Moore and *Scoloplos texana* Maciolek & Holland. *Proceedings Biological Society Washington*, 110(3):457-470.
- Granados-Barba, A., V. Ochoa-Rivera & V. Solís-Weiss, 2000. The polychaete criptofauna from Cozumel Island, Mexican Caribbean. *Bulletin of Marine Science*, 67(1):37-146.
- Granados-Barba, A., V. Ochoa-Rivera, V. Solís-Weiss & M.A Tovar-Hernández, 2003. Distribution and diversity of the Syllidae (Annelida: Polychaeta) from the Mexican Gulf of Mexico and Caribbean. *Hydrobiologia*, 496:337-345.
- Granados-Barba, A., 2011. Gusanos Anillados Marinos (Annelida: Polychaeta). 569-579 pp. Sección Diversidad de Especies, Invertebrados. En: Cruz-Angón, A. (Coord.) La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Vol. II. CONABIO – Gobierno del Edo. de Veracruz–Universidad Veracruzana–INECOL, A.C., México. 679 pp.
- Granados-Barba, A., N. Domínguez-Castanedo & V. Solís-Weiss, 2015. La macrofauna de fondos blandos de la laguna arrecifal de Sacrificios, SO del Golfo de México. *Hidrobiológica*, 25(1):107-119.
- Hutchings, P.A. & P.B. Weater, 1979. Experimental recruitment of endocryptolithic communities at Lizard Island, Great Barrier Reef: preliminary results. *Dalya*, 137(1):239-256.
- Hutchings, P.A., 1986. Biological destruction of coral reefs. *Coral Reefs*, 4:239-252.
- Jiménez-Cueto, M.S. y S.I. Salazar-Vallejo. 2005. Catálogo de los poliquetos pelágicos (Polychaeta) del Golfo de México y Mar Caribe mexicano. Chetumal, Chetumal, México. El Colegio de la Frontera Sur. 99 p.
- Marqueda-Mejía, J., 2005. Poliquetos asociados a coral muerto en el bajo La Gallega, Veracruz. *Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León*. 64 pp.
- Méndez N & M Green-Ruiz 1998 Superficial sediments and their relation to polychaete families in a subtropical embayment, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 46(2):237-248.
- Moreno-Forero, S., G. Navas & O. Solano, 1998. Cryptobiota associated to dead coral *Acropora palmata* (Scleractinia: Acroporidae), Isla Grande, Colombian Caribbean. *Journal Tropical Biology*, 46(2):229-236.
- Muniz, P. & A.M. Pires-Vanin, 2005. More about taxonomic sufficiency: a case study using polychaete communities in a subtropical bay moderately affected by urban sewage. *Ocean Science Journal*, 40(3):127-143.
- Ochoa-Rivera, V., 1996. La criptofauna poliquetológica de los principales arrecifes del sur del Golfo de México. Cayo Arcas, Triángulo Oeste, Cayo Arenas y Arrecife Alacrán. *Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM*. México. 101 pp.
- Ortega-Pimienta, J.V., 2005. Fauna criptica poliquetológica asociada a coral muerto del arrecife Isla Verde, Veracruz, México. *Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León*. México. 85 pp.
- Ortiz-Lozano, L., 2006. Análisis crítico de las zonas de planeación y regulación en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Baja California*. México. 187 pp.
- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez, & J. Martos, 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22-32.
- Ortiz-Lozano, L., A. Gutiérrez-Velázquez, A. Granados-Barba & C. González-Gándara, 2015. El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México: retos y oportunidades para el manejo del Sistema Arrecifal Veracruzano, 303-312. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México.

- Ortiz-Lozano, L., C. Colmenares-Campos & A. Gutiérrez-Velázquez, 2018. Submerged coral reefs in the Veracruz Reef System, Mexico, and its implications for marine protected area management. *Ocean & Coastal Management*, 158:11-23.
- Rodríguez-Villanueva V, R Martínez-Lara & V Díaz-Castañeda 2000 Structure and composition of the benthic polychaete families in Bahía de Todos Santos, Baja California, Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 67(1):113-126.
- Roberts, K.A., 1981. Polychaetes of Lobos reef Veracruz, México. Tesis Maestría. Corpus Christi State University, Texas. 44 pp.
- Rouse, G.W. & F. Pleijel, 2001. *Polychaetes*. Oxford University Press Inc. Oxford. 12:354 pp.
- Tovar-Hernández, M., 2000. Criptofauna poliquetológica del orden Phyllodocida (Pettibone, 1982) asociada a sustrato de coral muerto del arrecife Lobos, Veracruz. *Tesis Licenciatura, FES Iztacala, UNAM*. Ciudad de México. México. 155 pp.
- Uebelacker, J.M. & P.G. Johnson (eds), 1984. *Taxonomic guide to the polychaetes of the northern Gulf of Mexico*. Final Report to the Minerals Management Service, contract 14-12-001-29091. Barry A. Vittor & Associates, Inc., Mobile, Alabama. 7 vols.
- Valdés-Vargas, A., 2012. Los anfinómidos de los arrecifes Lobos y Tanhuijo: Aspectos morfológicos, poblacionales y comunitarios. *Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana*. Tuxpan, México. 54 pp.
- Vázquez-Estrada, R.I., 2014. Macrofauna asociada al alga calcárea *Halimeda opuntia* (Linnaeus) J.V. Lamouroux, 1816 en dos arrecifes de Tuxpan, Veracruz. *Tesis Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana*. Tuxpan, Veracruz, México. 62 pp.
- Vera-Hidalgo, D., 2007. Composición y estructura de las familias de anélidos poliquetos bentónicos en el arrecife Hornos, Veracruz, México. *Memoria de Residencia Profesional. Instituto Tecnológico de Boca del Río*. Veracruz, México. 87 pp.
- Yáñez-Rivera, B., 2004. Estructura comunitaria de los poliquetos asociados a rocas de coral muerto en isla Cozumel, Quintana Roo, México. *Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias UNAM*. Ciudad de México. México 61 pp.

Estrada-Vargas L., Y.B. Okolodkov, C. Galicia-García, H. Pérez-España, N.F. Álvarez-Velázquez e I. Martínez-Serrano, 2019. Corales Hermatípicos y Macroalgas en Arrecifes Bordeantes Frente a Chachalacas, Veracruz, Suroeste del Golfo de México, p. 177-190. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Corales Hermatípicos y Macroalgas en Arrecifes Bordeantes Frente a Chachalacas, Veracruz, Suroeste del Golfo de México

L. Estrada-Vargas<sup>1\*</sup>, Y.B. Okolodkov<sup>1</sup>, C. Galicia-García<sup>2</sup>, H. Pérez-España<sup>1</sup>,  
N.F. Álvarez-Velázquez<sup>3</sup>, e I. Martínez-Serrano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Boca del Río, Instituto Nacional de México

<sup>3</sup>Facultad de Biología, Xalapa, Universidad Veracruzana

\*lizestravad@gmail.com

## RESUMEN

En el estado de Veracruz, en el suroeste del golfo de México, hay tres principales sistemas arrecifales, los cuales presentan estructuras coralinas con diferentes grados de desarrollo. Entre estos sistemas existen otros, que aunque están menos desarrollados, pueden permitir una conectividad biológica entre todos. Tal es el caso de dos arrecifes de tipo bordeante Primera Laja y Segunda Laja, ubicados frente al poblado de Chachalacas. En estos arrecifes no se han realizado estudios ecosistémicos, por lo que la composición de especies de las comunidades bentónicas aún no está definida. El objetivo de este estudio fue identificar especies de corales escleractínios hermatípicos en las inmediaciones de la cresta arrecifal de la Segunda Laja y de macroalgas en la planicie arrecifal de la Primera Laja. En la Segunda Laja se encontraron un total de 128 colonias de seis especies de corales. Se observó mortalidad parcial en algunas colonias de *Acropora palmata*, plaga blanca en *Pseudodiploria strigosa* y presencia de lunares oscuros en colonias de *Siderastrea siderea*. En el arrecife de la Primera Laja se recolectaron macroalgas carnosas, calcáreas articuladas, filamentosas, coriáceas y laminares y se identificaron 16 especies de macroalgas. Con base en los resultados obtenidos, se sugiere un mejor estado de conservación de estos arrecifes comparado con los arrecifes bordeantes del Sistema Arrecifal Veracruzano. La riqueza de especies puede ser mayor, puesto que los estudios se realizaron sólo en algunas zonas

limitadas de los arrecifes. Es importante continuar con estudios ecológicos en ambos arrecifes e involucrar a la población local para su conservación.

**Palabras clave:** Arrecifes coralinos, Golfo de México, macroalgas.

## ABSTRACT

In the state of Veracruz, southwestern Gulf of Mexico, there are three main coral reef systems that have coralline structures of different development grades. There are other coral reefs between them, not well developed, that contribute to biological connectivity. That is the case of two fringing reefs: Primera Laja and Segunda Laja, both located off Chachalacas town. There are no studies on these reefs, so the species composition of benthic communities has not been determined yet. The objective of the present study was to identify coral species located close to the reef crest at Segunda Laja Reef, as well as to identify macroalgae on the reef flat of Primera Laja Reef. A total of 128 colonies of six coral species were found on the reef crest of Segunda Laja. Partial mortality was observed in some colonies of *Acropora palmata*, the white plague in *Pseudodiploria strigosa* and the presence of the dark spots disease in colonies of *Siderastrea siderea*. On Primera Laja, fleshy, articulate calcareous, filamentous, coriaceous and laminar were collected, and 16 species were identified. Based on the results obtained, these reefs appear to be better conserved than the fringing reefs in the Veracruz Reef System. Species richness is probably higher because only a small portion of the entire reef zone has been studied. Therefore, it is important to continue ecological studies on both coral reefs and to involve local communities in their conservation.

**Keywords:** Coral Reefs, Gulf of Mexico, Macroalgae.

## INTRODUCCIÓN

Sobre la plataforma continental del suroeste del golfo de México se encuentran varios ecosistemas arrecifales con diferente grado de desarrollo (Tunnell, 2007). En esta región se distinguen tres sistemas principales: el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y el Sistema Arrecifal de Los Tuxtlas (SAT) (CONANP, 2009; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013; CONANP, 2014, 2017).

La mayoría de las formaciones arrecifales son principalmente de plataforma con algunos de tipo bordeante (Tunnell, 2007). De acuerdo con Kennedy y Woodroffe (2002), Chávez *et al.* (2010) y Smithers (2011), los arrecifes bordeantes crecen cerca de la costa, son estructuras simples geomorfológicamente, y en ellos se pueden distinguir tres zonas:

1) barlovento, zona situada hacia mar abierto, recibe el embate del oleaje; 2) cresta arrecifal, zona de alta energía con la menor profundidad; 3) planicie arrecifal (también llamada laguna arrecifal), representa la zona cercana a la línea de costa. En Veracruz, los arrecifes bordeantes se caracterizan por poseer una menor cobertura coralina y mayor cobertura algal en las tres zonas arrecifales (Garduño-Solórzano *et al.*, 2005; Mateo-Cid *et al.*, 2013; Horta-Puga *et al.*, 2015). No obstante, la cobertura coralina y de macroalgas varía de acuerdo a los factores ambientales e impactos de origen antrópico (López-Padierna, 2017). Por ejemplo, los arrecifes bordeantes ubicados en el SAV (Punta Gorda, Hornos, Ingeniero, Giote) están sujetos a una fuerte presión por el desarrollo urbano, por lo que el deterioro

de los ecosistemas es evidente (Horta-Puga *et al.*, 2007). Estos arrecifes se caracterizan por tener una alta tasa de sedimentación y baja cobertura coralina; las rocas, guijarros y algas son el sustrato dominante (Godínez-Ortega *et al.*, 2009). También, la presencia de signos de enfermedades de coral en los arrecifes del SAV es evidencia del deterioro de los ecosistemas debido al impacto humano (Carricart-Ganivet *et al.*, 2011; Pérez-España *et al.*, 2015).

No obstante, entre el SAV y el SALT se encuentran otros arrecifes, que aunque menos desarrollados, podría tener un mejor estado de conservación y que, además, podrían permitir una conectividad biológica entre

los sistemas (Salas-Monreal *et al.*, 2018); sin embargo, poco se sabe sobre la biodiversidad que albergan estas formaciones, tal es el caso de los arrecifes conocidos como Primera Laja y Segunda Laja. Aproximadamente a 30 km al noroeste del SAV y del puerto de Veracruz, se ubican estos dos arrecifes de tipo bordeante. En esta zona no se han realizados estudios ecosistémicos, por lo que la estructura y composición de las comunidades bentónicas aún no está definida. El objetivo de este estudio fue proporcionar información sobre especies de corales escleractínios hermatípicos y macroalgas bentónicas, que se desarrollan en zonas arrecifales y que determinan el paisaje marino.

## ÁREA DE ESTUDIO

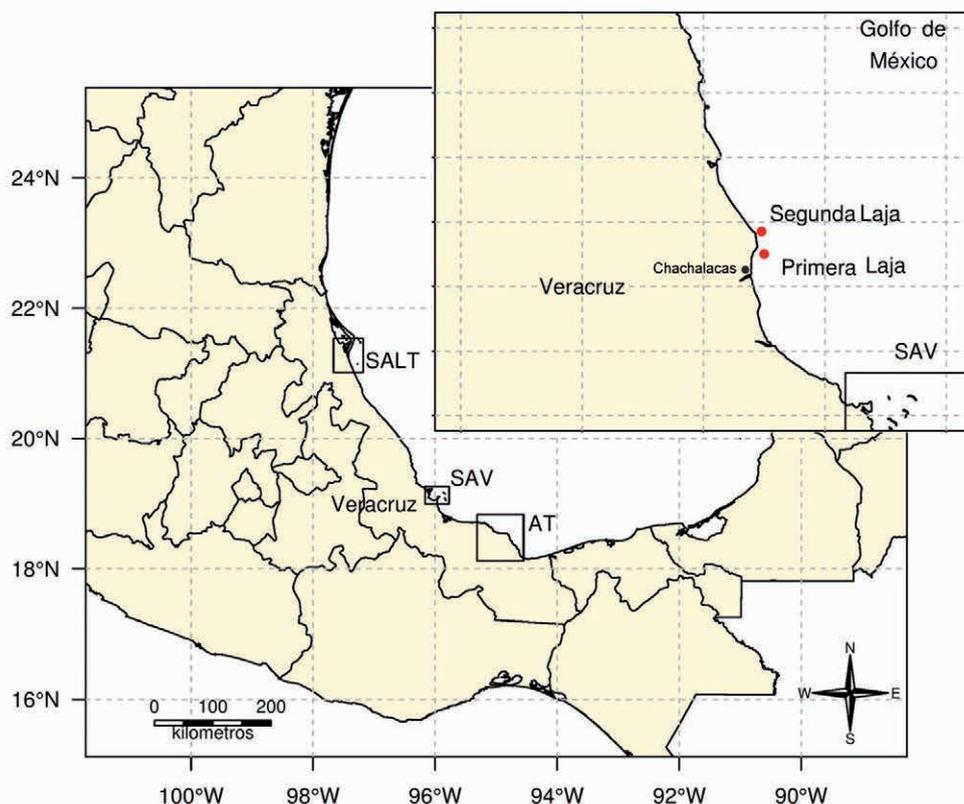
Los arrecifes Segunda Laja (19°29.033'N, 96°18.581'W) y Primera Laja (19°27.791'N, 96°18.370'W) se sitúan al norte del SAV, en la costa centro del estado de Veracruz, en el

suroeste del golfo de México (figura 1). Colindan con un sistema de dunas ubicado entre la comunidad de Chachalacas y Paso Doña Juana en el municipio de Úrsulo Galván.

## MATERIAL Y MÉTODOS

De agosto a octubre de 2015 se realizaron estudios en la Segunda Laja. Durante este periodo se llevaron a cabo tres muestreos mensuales. Se trabajó en un área de 500 m<sup>2</sup> en la inmediaciones de la cresta arrecifal, cerca de la plataforma, dominada por zoántidos. Por medio de buceo libre se trazaron cinco transectos de 100 m, perpendiculares a la línea de costa. Se cuantificaron las colonias, se fotografiaron los especímenes y se realizaron videos. La identificación de los corales se basó en las características morfológicas observa-

das en campo y con ayuda de claves y literatura especializada (Castañares y Soto, 1982; Beltrán-Torres y Carricart-Ganivet, 1999). Se evaluó la riqueza y la abundancia de especies. Con los valores de riqueza y abundancia se estimó la riqueza esperada empleando los modelos no paramétricos de Chao 1 y Jackknife 1 mediante el programa Primer-e 6.0. Se estimó la diversidad verdadera empleando el índice de Shannon-Wiener (Moreno *et al.*, 2011). Los muestreos también permitieron evaluar algunos signos de enfermedades de coral.



**Figura 1.** Área de estudio en la zona de los arrecifes Primera Laja (Punta Norte) y Segunda Laja en el estado de Veracruz, suroeste del golfo de México.

En el arrecife Primera Laja el estudio se realizó en la planicie arrecifal, a una distancia aproximada de 300 a 700 m de la línea de costa. Se llevaron a cabo muestreos mensuales de agosto del 2016 a julio del 2017. Se recolectaron manualmente especímenes de macroalgas por medio de buceo libre hasta 2 m de profundidad y se clasificaron de acuerdo a su forma biológica en: carnosas, calcáreas articuladas, filamentosas, coriáceas y lamina-

res (Littler *et al.*, 1983). La identificación de macroalgas a nivel de género o de especie se realizó con ayuda de la monografía de Littler y Littler (2000) y la actualización de los nombres consultando la base de datos AlgaeBase (Guiry y Guiry, 2018). Con datos de presencia se estimó la riqueza esperada empleando los modelos no paramétricos de Chao 2, Jackknife 2 y Bootstrap, empleando el programa Primer-e 6.0.

## RESULTADOS

En el arrecife Segunda Laja se distinguen claramente las tres zonas arrecifales: barlovento, cresta arrecifal y laguna arrecifal. La cresta arrecifal se desarrolla aproximadamente a 500 m de la línea de costa. Al suroeste de la cresta se localiza una plataforma, dominada por zoántidos (Anthozoa: Hexacorallia: Zoantharia) con una profundidad de 0.5 a 1 m. La laguna arrecifal tiene una profundidad de 1 a 3 m.

El arrecife de la Primera Laja se encuentra cercano a la costa y limitado por un canal con una profundidad aproximada de 2 m, después de éste comienza la formación arrecifal. Se distingue una planicie arrecifal completamente sumergida a una profundidad de 0.5 a 2.5 m, con sustrato rocoso-arenoso y pequeños fragmentos de coral muerto (< 20 cm).

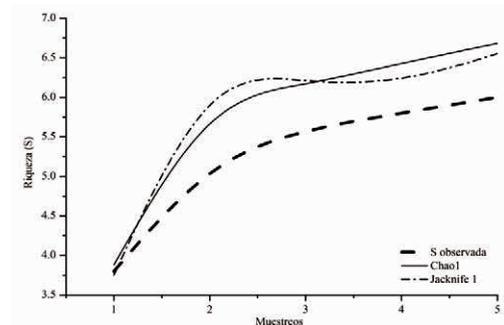
En la Segunda Laja se encontraron un total de 128 colonias de seis especies de corales escleractínios hermatípicos (tabla 1).

**Tabla 1.** Especies de corales escleractínios hermatípicos encontrados en el arrecife Segunda Laja y su abundancia relativa.

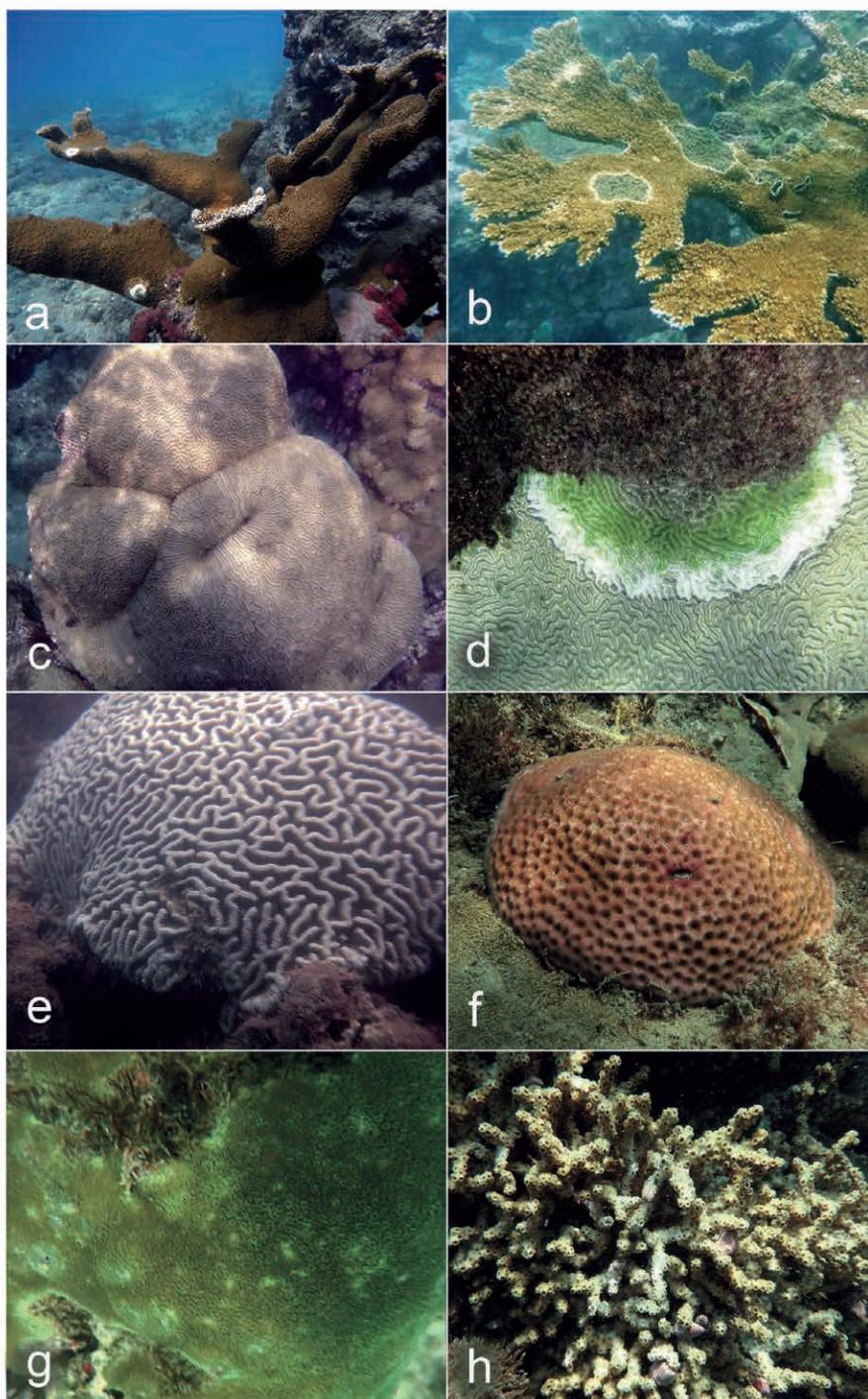
Especie	Abundancia Relativa
<i>Acropora palmata</i> (Lamarck, 1816)	26%
<i>Pseudodiploria strigosa</i> (Dana, 1848)	20%
<i>Porites astreoides</i> (Lamarck, 1816)	18%
<i>Siderastrea siderea</i> (Ellis et Solander, 1786)	16%
<i>Colpophyllia natans</i> (Houttuyn, 1772)	16%
<i>Oculina diffusa</i> (Lamarck, 1816)	4%

Los datos de riqueza observada y esperada de acuerdo a los modelos no paramétricos de Chao 1 y Jackknife 1, tuvieron un promedio de representatividad de 94 % (figura 2). Respecto a la diversidad de corales hermatípicos, se obtuvo el valor  $H' = 1.70$ .

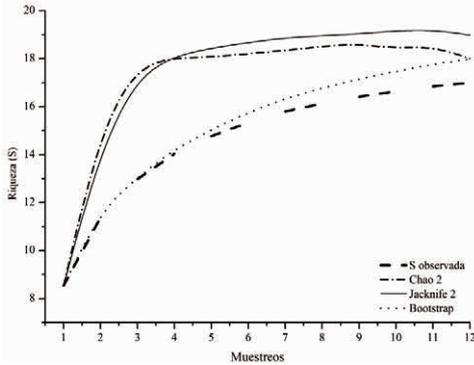
Con relación a las enfermedades de coral, se observó que algunas colonias de *Acropora palmata* presentaron signos de mortalidad parcial, en *Pseudodiploria strigosa* se observó plaga blanca y en colonias de *Siderastrea siderea* se registraron lunares oscuros (figura 3). En la Primera Laja, la planicie arrecifal se encuentra dominada por macroalgas, las cuales se distribuyeron hasta la zona de la cresta arrecifal, donde han colonizando estructuras de coral. La riqueza observada y esperada de acuerdo a los modelos no paramétricos empleados, varió entre 89 y 94 %, dependiendo del estimador. En promedio la representatividad fue del 92 % (figura 4). De las 16 especies de macroalgas, siete pertenecen a la división Rhodophyta, seis a la división Chlorophyta



**Figura 2.** Riqueza observada y esperada de corales hermatípicos de acuerdo a los modelos no paramétricos de Chao 1 y Jackknife 1 para los valores de abundancia.

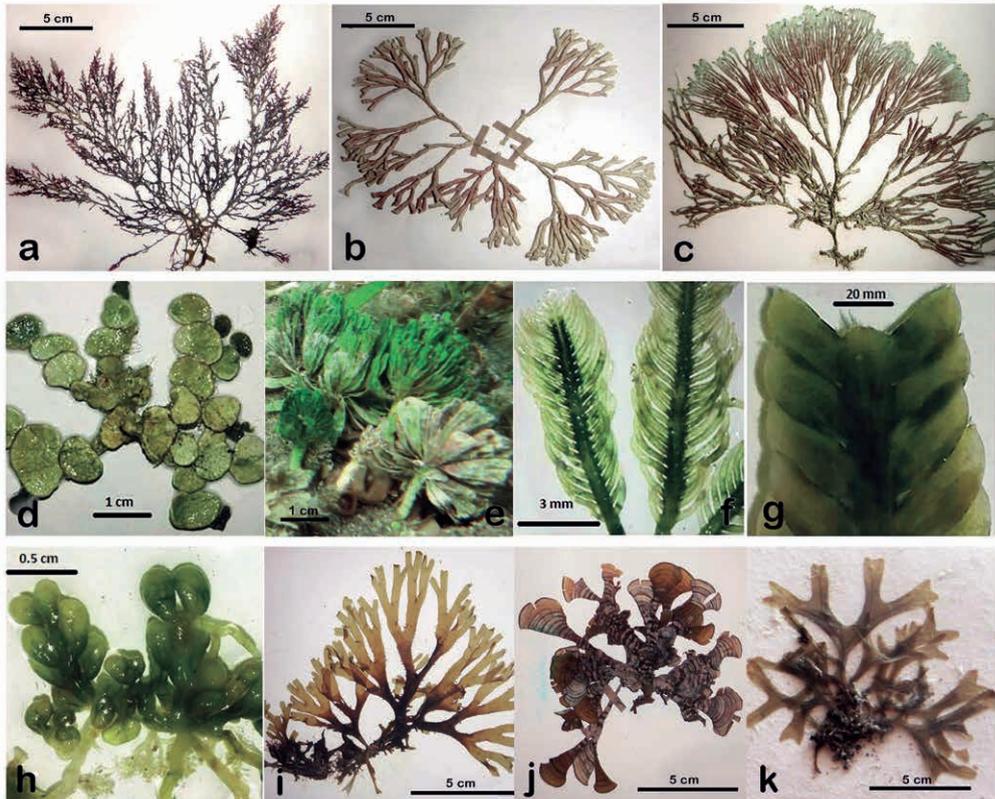


**Figura 3.** Especies de corales escleractinios. a) *Acropora palmata*; b) *Acropora palmata*, colonia con mortalidad parcial; c) *Pseudodiploria strigosa*; d) *Pseudodiploria strigosa*, colonia con plaga blanca; e) *Colpophyllia natans*; f) *Siderastrea siderea*, con lunares oscuros; g) *Porites astreoides*; h) *Oculina diffusa*.



**Figura 4.** Riqueza observada y esperada de macroalgas en la Primera Laja de acuerdo a los modelos no paramétricos de Chao 2, Jackknife 2 y Bootstrap para los valores de presencia.

y tres a la división Ochrophyta (figura 5). El paisaje estuvo dominado por algas calcáreas articuladas (6 spp.), y carnosas (6 spp.). Las especies menos abundantes fueron las laminares (2 spp.), coriáceas (1 sp.) y filamentosas (1 sp) (tabla 2). Durante el año de muestreo, *Halimeda scabra*, *Dictyopterus delicatula* y *Padina* sp. estuvieron presentes en la mayoría de los meses. De las 16 especies registradas, 11 algas estuvieron presentes en ambas temporadas (lluvias y secas; indicativo de algas anuales) y sólo cinco en lluvias (especies estacionales). Siete especies se encontraron tanto en sustrato rocoso como arenoso, seis en rocoso y cuatro en arenoso (tabla 1).



**Figura 5.** Macroalgas en Punta Norte. Rhodophyta: a) *Laurencia* sp.; b) *Tricleocarpa cylindrica*, c) Familia Liagoraceae. Chlorophyta: d) *Halimeda scabra*; e) *Rhipocephalus phoenix*; f) *Caulerpa sertularioides*; g) *C. mexicana*; h) *C. racemosa*. Ochrophyta: i) *Dictyota* sp.; j) *Padina* sp.; k) *Dictyopterus delicatula*.

## DISCUSIÓN

Las especies de los corales escleractínios en la Segunda Laja han sido reportadas para el Atlántico mexicano y forman parte de la comunidad bentónica en los arrecifes del SAV (Beltrán-Torres y Carricart-Gavinet, 1999; Horta-Puga *et al.*, 2007, 2015). La frecuencia de *Acropora palmata* y la presencia de corales incrustantes mayores a 0.5 m indican, que la zona de estudio pertenece al borde frontal de la cresta arrecifal. La composición, riqueza y diversidad de corales escleractínios hermatípicos difieren de lo reportado para arrecifes bordeantes del SAV. Los arrecifes bordeantes Hornos e Ingeniero cuentan con menor riqueza, diversidad y cobertura coralina, que los arrecifes de plataforma (Horta-Puga *et al.*, 2015; Pérez-España *et al.*, 2015), por el grado de perturbación, a la que han sido sometidos (Lara *et al.*, 1992; Godínez-Ortega *et al.*, 2009; Carricart-Gavinet *et al.*, 2011; Pérez-España *et al.*, 2015).

La alta representatividad (94%) de los valores de abundancia obtenidos en campo sugieren, que la riqueza de especies de corales en la Segunda Laja (n=6) es ligeramente mayor a la de arrecife Ingeniero (n=5) (Pérez-España *et al.*, 2015), e igual a la de Hornos (Horta-Puga *et al.*, 2015); no obstante, la composición y abundancia de especies fueron diferentes. La Segunda Laja presenta colonias de *Acropora palmata*, *Pseudodiploria strigosa* y *Porites astreoides*, las cuales sólo se han registrado en arrecifes de plataforma en el SAV (Pérez-España *et al.*, 2015). Por otro lado, su abundancia difiere a lo reportado para el arrecife Hornos, donde *S. radians*, *M. cavernosa*, *O. diffusa* y *Diploria* spp. son las especies más abundantes (Horta-Puga *et al.*, 2015). La abundancia

relativa de *Acropora palmata* (26 %) en la Segunda Laja fue mayor a la registrada para los arrecifes de plataforma del SAV, mientras que el resto se encuentra dentro de lo estimado por Horta-Puga *et al.* (2015). La diversidad efectiva de corales en la Segunda Laja fue de 5.5 ( $H' = 1.70$ ), la cual fue 1.0 veces mayor a lo reportado por Horta-Puga *et al.* (2015) (4.5) en el arrecife Hornos ( $H' = 1.5$ ).

Con los resultados obtenidos, se puede sugerir que la riqueza de especies en la Segunda Laja pudiera ser mayor, puesto que sólo se estudió el borde frontal de la cresta arrecifal. Por otro lado, la presencia de especies, que sólo se han encontrado en arrecifes de plataforma, sugiere un menor grado de perturbación comparado con los arrecifes bordeantes del SAV. Horta-Puga *et al.* (2015) mencionan, que los arrecifes más alejados a la zona urbana de Veracruz son los que presentan mayor cobertura y diversidad de corales.

Es importante resaltar la presencia de *Acropora palmata*, una especie sujeta a protección ambiental por la legislación mexicana (NOM-059-SEMARNAT-DOF, 2010). En el SAV sólo se ha reportado en los arrecifes de plataforma (Larson *et al.*, 2014; Horta-Puga *et al.*, 2015). Chávez *et al.* (2010) mencionan, que antes de su deterioro *Acropora palmata* era la especie dominante en la zona con patrones específicos de desarrollo, comúnmente en el margen sureste de los arrecifes, a profundidades no mayores a los 10 m y sometidas a alta intensidad del oleaje. En el SAV la especie se encuentra en recuperación por la recolonización en los arrecifes (Larson *et al.*, 2014). Pérez-España *et al.* (2015) sugieren, que la recolonización podría representar etapas tempranas de recu-

peración o bien tratarse sólo de eventos transitorios, puesto que aún se sigue observando pérdida de colonias por blanqueamiento y la presencia de la enfermedad de la banda blanca. En la Segunda Laja sólo se observó una mortalidad parcial en algunas colonias de *A. palmata*, presencia de plaga blanca en colonias *Pseudodiploria strigosa* y lunares oscuros en colonias de *Siderastrea siderea*.

Los síndromes y enfermedades de corales se han reportado en diferentes colonias dentro de SAV, y es evidencia del estrés ambiental al que están sujetos los arrecifes (alteraciones naturales o de origen antrópico) (Gil-Agudelo *et al.*, 2009; Carricart-Ganivet *et al.*, 2011; Pérez-España *et al.*, 2015). La presencia de síndrome blanco se ha asociado con las enfermedades de la banda blanca y mancha blanca, que resultan de la pérdida de tejido en especies como *Acropora palmata* y *Porites astreoides* (Ainsworth *et al.*, 2007; Weil y Rogers, 2011). La enfermedad de la banda blanca en las *Acropora* spp. es la principal causa de la mortalidad en colonias de los arrecifes del suroeste del golfo de México (Jordan-Dahlgren y Rodríguez-Martínez, 2003). En el SAV esta enfermedad se ha presentado en *Acropora palmata* y *A. cervicornis* (Pérez-España *et al.*, 2015). La enfermedad de lunares oscuros es la que ha tenido la mayor prevalencia en colonias del SAV (Carricart-Ganivet *et al.*, 2011).

En la Primera Laja las macroalgas dominan la zona, la cual está sujeta al impacto directo del oleaje, debido a que en el parche arrecifal no se distinguen bloques o estructuras arrecifales que disminuyan el impacto de las olas. Denny *et al.* (1985) y Rangel-Ávalos *et al.* (2007) mencionan, que el oleaje afecta de manera significativa el establecimiento de especies bentónicas. Algunas algas calcáreas

articuladas, así como las de consistencia coriácea (*Padina* spp.), por su arreglo celular y contenido de carbonato de calcio soportan más los embates de las olas (Lehman, 2010).

En la Primera Laja el efecto del oleaje sobre la flora bentónica se observó en la baja riqueza encontrada (16 spp.). En el SAV se han reportado hasta 115 especies de algas calcáreas articuladas, coriáceas, filamentosas, laminares y carnosas en los arrecifes bordeantes, Hornos (107 especies), Punta Gorda (24), Giote (18) e Ingenieros (18) (Galicia-García y Morales-García, 2007). En el SAV las macroalgas se desarrollan mejor en la planicie arrecifal, la cual se encuentra protegida del oleaje por la presencia de estructuras arrecifales (Mateo-Cid *et al.*, 1996; González-González, 2009; García-López *et al.*, 2017), contrario a lo que se observó en la Primera Laja, lo que podría explicar la baja riqueza encontrada.

Otro punto importante a resaltar es que las macroalgas calcáreas articuladas de los géneros *Galaxaura*, *Amphiroa*, *Halimeda* y *Cymopolia* así como de algas coriáceas como *Padina* spp., además de resistir los embates de las olas, también soportan más la herbivoría por el contenido de carbonato de calcio en sus paredes, que las protegen de los depredadores; de forma contraria tienen mayor herbivorismo las laminares y filamentosas (Littler *et al.*, 1983). En los arrecifes del SAV las macroalgas han invadido zonas arrecifales por la reducción de especies forrajeras debido a las actividades humanas, como la sobrepesca (Lehman, 2010). Lo anterior, podría sugerir un mejor estado de conservación en la Primera Laja; sin embargo, es pertinente realizar estudios sobre la dinámica anual y evaluar el resto de los morfotipos de macroalgas así como el resto de la biota.

Una primera aproximación en la taxocenosis de las macroalgas de la Primera Laja se obtuvo al realizar los muestreos mensuales. El mayor número de especies se presentó en los meses más cálidos durante la temporada de lluvias de acuerdo a los datos publicados por Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2016, 2017). Lo anterior se asemeja a lo reportado por Mateo-Cid *et al.* (1996) y García-López *et al.* (2017) en arrecifes del SAV, donde los autores observan, que durante la temporada de lluvias la riqueza de especies de macroalgas aumenta. Por su parte, Tribollet y Vroom (2007) y Mejía *et al.* (2012) mencionan, que los cambios estacionales, que modifican la temperatura superficial del mar,

influyen directamente en la taxocenosis macroalgal, permitiendo el mayor desarrollo de especies durante la temporada cálida.

Los resultados obtenidos en este estudio representan el primer registro de especies de corales escleractínios hermatípicos en la Segunda Laja y de macroalgas para la Primera Laja. Las especies de corales y macroalgas encontradas han sido reportadas en otras zonas arrecifales de Veracruz (Galicia-García y Morales-García, 2007; González-Gándara *et al.*, 2007; Horta-Puga *et al.*, 2007; CONANP, 2009; Pérez-España *et al.*, 2015). Lo anterior aporta información que apoya la hipótesis de la conectividad biológica que se presenta en la región (Salas-Monreal *et al.*, 2018).

## CONSIDERACIONES FINALES

Con base en los resultados obtenidos sobre la riqueza de corales en la Segunda Laja y de macroalgas en el arrecife Primera Laja, se observa un mejor estado de conservación en estos arrecifes bordeantes comparado con los arrecifes bordeantes del SAV. Además, de los resultados se infiere que la riqueza de especies

puede ser mayor, puesto que los estudios se realizaron sólo en algunos sitios de estos arrecifes. Por lo anterior, es importante continuar con estudios ecológicos en ambos arrecifes e involucrar a la población local para su conservación.

## AGRADECIMIENTOS

A nuestros capitanes Genaro Cabrera y Gerardo Portilla-Domínguez de la comunidad de Chachalacas. A Héctor Hernández-García, Angélica Jiménez-Zamudio, Cesar Linton-Izquierdo, Alexa Mendoza-Osio y Zullyn Juárez-Bravo por su participación durante el trabajo de campo. A Ismael Gárate-Lizárraga y Marcia M. Gowing por mejorar el texto.

Lizbeth Estrada-Vargas agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México) por la beca asignada para realizar estudios de posgrado. A The Mohamed bin Zayed Species Conservation Fund (Abu Dhabi) y a La Asociación Chelonia (Madrid, España), quienes financiaron parte del trabajo con corales (núm. de proyecto: 152511924).

## LITERATURA CITADA

- Ainsworth T.D., E.C. Kvennefors, L.L. Blackall, M. Fine & O. Hoegh-Guldberg, 2007. Disease and cell death in white syndrome of acroporid corals on the Great Barrier Reef. *Marine Biology*, 151:19–29.
- Beltrán-Torres, A.U. & J.P. Carricart-Gavinet, 1999. Lista revisada y clave para corales pétreos zooxantelados (Hydrozoa: Millepora; Anthozoa: Scleractinea) del Atlántico Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 47(4):813–829.
- Carricart-Ganivet, J.P., A.U. Beltrán-Torres & G. Horta-Puga, 2011. Distribution and prevalence of coral diseases in the Veracruz Reef System, southern Gulf of Mexico. *Diseases of Aquatic Organisms*, 95:181–187.
- Castañares, L.G. & L.A. Soto, 1982. Estudios sobre los corales escleractinios hermatípicos de la costa noreste de la Península de Yucatán, México. Parte I: Sinopsis taxonómica de 38 especies (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM*, 9:295–344.
- Chávez, E.A., J.W. Tunnell Jr. & K. Withers, 2010. Zonación y Ecología de los Arrecifes: Plataforma Veracruzana y Banco de Campeche. pp. 60–100. En: J.W. Tunnell Jr., K. Withers & E.A. Chávez (eds.). *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Edición del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN. La Paz, Baja California Sur, México. 293 pp.
- CONAGUA, 2016. *El reporte del clima en México*. Reporte Anual 2016. Comisión Nacional del Agua Servicio Meteorológico Nacional, México. 37 pp.
- CONAGUA, 2017. *El reporte del clima en México*. Reporte Anual 2017. Comisión Nacional del Agua Servicio Meteorológico Nacional, México. 50 pp.
- CONANP, 2009. *Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida reserva de la Biósfera “Arrecifes Los Tuxtlas”*. Reporte Técnico, Contrato: SSAP-2009-86. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México. 244 pp.
- CONANP, 2014. *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México. 175 pp.
- CONANP, 2017. *Programa de Manejo Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México. 347 pp.
- Denny, M.W., T.L. Daniel & M.A.R. Koehl, 1985. Mechanical limits to size in wave-swept organisms. *Ecological Monographs*, 55(1):69–102.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SE-MARNAT-2010. Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- Galicia-García, C. & A. Morales-García, 2007. Investigaciones sobre macroalgas realizadas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 141–160. En: A. Granados-Barba, L.G. Abarca-Arenas & J.M. Vargas-Hernández (eds.). *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 306 pp.
- García-López, D.Y., L.E. Mateo-Cid & A.C. Mendoza-González, 2017. Nuevos registros y lista actualizada de las algas verdes (Chlorophyta) del litoral de Veracruz, México. *Gayana Botánica*, 74(1):41–56.
- Garduño-Solórzano, G., J.L. Godínez & M.M. Ortega, 2005. Distribución geográfica y afinidad por el sustrato de las algas verdes (Chlorophyceae) bénticas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 76:61–78.
- Gil-Agudelo, D.L., R. Navas-Camacho, A. Rodríguez-Ramírez, M.C. Reyes-Nivia, S. Bejarano, J. Garzón-Ferreira & G.W. Smith, 2009. Enfermedades coralinas y sus investigaciones en

- los arrecifes colombianos. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 38(2):189-224.
- Godínez-Ortega, J.L., P. Ramírez-García & K. Pedraza-Venegas, 2009. Cambios en la flora bentónica de Arrecife Hornos (Veracruz, México). *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 12(2):59-65.
- González-Gándara, C., M. Cruz-Arellano, C. Domínguez-Barradas, A. Serrano-Solís & A. de J. Basañez-Muñoz, 2007. Macroalgas asociadas a cuatro hábitats del arrecife Tuxpan, Veracruz, México. *Revista UDO Agrícola*, 7(1):252-257.
- González-González, J.A.G., 2009. *Dinámica de las comunidades de macrofitas en el arrecife de Sacrificios, Veracruz, México. Tesis Maestría. Centro de Ecología y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Boca del Río, Veracruz, México. 93 pp.*
- Guiry, M.D. & G.M. Guiry, 2018. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 1 Feb 2019.
- Horta-Puga, G., J.M. Vargas-Hernández & J.P. Carricart-Ganivet, 2007. Corales de los arrecifes. pp. 141-148. En: J.W. Tunnell Jr., K. Withers & E.A. Chávez (eds.). *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Edición del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN. La Paz, Baja California Sur, México. 293 pp.
- Horta-Puga, G., J.L. Tello-Musi, A. Beltrán-Torres, J.P. Carricart-Ganivet, J.D. Carriquiry & J. Villaescusa-Celaya, 2015. Veracruz Reef System: A hermatypic coral community thriving in a sedimentary terrigenous environment. pp. 181-208. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). *Aportes al Conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 366 pp.
- Jordan-Dahlgren, E. & R.E. Rodríguez-Martínez, 2003. The Atlantic coral reefs of Mexico. pp. 131-158. En: J. Cortés (ed.). *Latin American Coral Reefs*. Elsevier Press, Amsterdam.
- Kennedy, D.M. & C.D. Woodroffe, 2002. Fringing reef growth and morphology: a review. *Earth-Science Reviews*, 57:255-277.
- Lara, M., C. Padilla, C. García & J.J. Espejel, 1992. Coral reefs of Veracruz, Mexico I. zonation and community. *Proceedings 7th International Coral Reef Symposium*, Guam, 1:535-544.
- Larson, E.A., D.S. Gilliam, M.L. Padierna & B.K. Walker, 2014. Possible recovery of *Acropora palmata* (Scleractinia: Acroporidae) within the Veracruz Reef System, Gulf of Mexico: a survey of 24 reefs to assess the benthic communities. *Revista de Biología Tropical*, 62:75-84.
- Lehman, R.L., 2010. Algas de los arrecifes. pp. 129-140. En: J.W. Tunnell Jr., K. Withers & E.A. Chávez (eds.). *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Edición del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN. La Paz, Baja California Sur, México. 293 pp.
- Littler, M.M., D.S. Littler & P.R. Taylor, 1983. Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: functional-form groups of marine macroalgae. *Journal of Phycology*, 19:229-237.
- Littler D.S. & M.M. Littler, 2000. *Caribbean reef plants. An identification guide to the reef plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico*. Offshore Graphics, Inc., Washington, D.C., USA. 542 pp.
- López-Padierna, M., 2017. Distribution and condition of stony corals in the Veracruz Reef System National Park: a management perspective. *Tesis Maestría. Nova Southeastern University*, Miami, Florida. 58 pp. [http://nsuworks.nova.edu/occ\\_stuetd/447](http://nsuworks.nova.edu/occ_stuetd/447).
- Mateo-Cid, L.E., A.C. Mendoza-González & C. Galicia-García, 1996. Algas marinas de Isla Verde, Veracruz, México. *Acta Botanica Mexicana*, 36:59-75.
- Mateo-Cid, L., C. Mendoza-González, A. Ávila-Ortiz & S. Díaz-Martínez, 2013. Algas marinas bentónicas del litoral de Campeche, México. *Acta Botanica Mexicana*, 104:53-92.

- Mejía A.Y., G.N. Puncher & A.H. Engelen, 2012. Macroalgae in tropical marine coastal systems. pp. 329–357. En: C. Wiencke & K. Bischof. *Seaweed Biology: Novel Insights into Ecophysiology, Ecology and Utilization*. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany. 495 pp.
- Moreno, C.E., F. Barragán, E. Pineda & N.P. Pavón, 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82:1249-1261.
- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez & J. Martos, 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its Management and Conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22-32.
- Pérez-España, H., P.S. Ávila-Gutiérrez, S.M. Mello-Merino, P. Berumen-Solórzano & R.R. Flores-Arévalo, 2015. Patrones interanuales e interarrecifales de las comunidades de peces, corales y equinodermos en el Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 159–178. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al Conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 366 pp.
- Rangel-Avalos, M.A., K.B. Jordan, B.K. Walker, D.S. Gilliam, E. Carvajal-Hinojosa & R.E. Spieler, 2007. Fish and coral reef communities of the Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Veracruz Coral Reef System National Park), Veracruz, Mexico: preliminary results. *Oceanography Faculty Proceedings, Presentations, Speeches, Lectures*. 54 pp.
- Salas-Monreal, D., M. Marín-Hernández, J.J. Salas-Pérez., D.A. Salas-de-León, M.A. Monreal-Gómez & H. Pérez-España, 2018. Coral reef connectivity within the Western Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems*, 179:88-99.
- Smithers, S., 2011. Fringing Reefs. pp. 430-446. En: D. Hopley (ed.). *Encyclopedia of Modern Coral Reefs. Structure, Form and Process*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht, Germany 1205 pp.
- Tribollet, A.D. & P.S. Vroom, 2007. Temporal and spatial comparison of the relative abundance of macroalgae across the Mariana Archipelago between 2003 and 2005. *Phycologia*, 46(2):187-197.
- Tunnell Jr., J.W., 2007. Distribución de los arrecifes. pp. 17–29. En: J.W. Tunnell Jr., K. Withers & E.A. Chávez (eds.). *Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Edición del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, IPN. La Paz, Baja California Sur, México. 293 pp.
- Weil, E. & C.S. Rogers, 2011. Coral reef diseases in the Atlantic Caribbean. p. 465-491. En: Z. Dubinsky & N. Stambler (eds.). *Coral Reefs: an Ecosystem in Transition*. 552 pp.



Morteo, E., T.E. Ramírez y Romero, V. del Castillo-Olvera, C. A. Delfín-Alfonso, J. Bello-Pineda y Y A. González-Christen, 2019. Ecología Poblacional de Delfines (*Tursiops truncatus*) en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, p. 191-214. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Ecología Poblacional de Delfines (*Tursiops truncatus*) en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

Eduardo Morteo<sup>1,2\*</sup>, Tania E. Ramírez y Romero<sup>2</sup>, Verónica del Castillo-Olvera<sup>2</sup>,  
Christian A. Delfín-Alfonso<sup>1,2</sup>, Javier Bello-Pineda<sup>3</sup>, Alvar González-Christen<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana

<sup>2</sup>Laboratorio de Mamíferos Marinos (LabMMar, IIB-ICIMAP), Universidad Veracruzana

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

\*emorteo@gmail.com

## RESUMEN

Los tursiones o toninas (*Tursiops truncatus*) son posiblemente los delfines más conocidos a nivel mundial. Su ecología y biología han sido documentadas ampliamente; sin embargo, la investigación sobre esta especie en México es reciente, y las poblaciones del golfo de México han sido menos estudiadas. En este trabajo, se documentan aspectos fundamentales de la ecología poblacional (distribución, demografía, y comportamiento, incluyendo movimientos migratorios) de los tursiones en aguas costeras de dos localidades del estado de Veracruz, separadas por 230 km (Nautla 48 km<sup>2</sup> y Alvarado 54 km<sup>2</sup>). Se realizaron 52 navegaciones de fotoidentificación entre julio 2002 y septiembre 2003. El esfuerzo de búsqueda fue de 204.5 h y se tuvieron 76.1 h de avistamientos, donde se localizaron 60 manadas con un total de 703 delfines (42 jóvenes, 38 crías). Se obtuvieron 2 085 fotografías útiles de las aletas dorsales de estos delfines con baja eficiencia fotográfica (31 %); y se tuvieron registros de 555 individuos con una alta eficiencia de fotoidentificación (89 %), los cuales correspondieron a 160 delfines de Nautla y 92 de Alvarado. El tamaño de los grupos fue distinto entre sitios (Nautla  $\bar{x}$  = 11.0 ± 14.1; Alvarado  $\bar{x}$  = 9.3 ± 8.41) y la abundancia relativa (delfines h<sup>-1</sup>) fue muy variable (Nautla  $\bar{x}$  = 4.1 ± 3.7, Alvarado  $\bar{x}$  = 3.5 ± 1.6). La abundancia absoluta promedió diariamente 187.0 (± 132.4 D.E.) tursiones marcados en Nautla y 68.6 (± 35.4 D.E.) en Alvarado, con un máximo de 636 individuos en ambos sitios combinados. La tasa de intercambio entre localidades fue del 5%, donde ocho delfines

emigraron permanentemente de la localidad de origen en pocos días ( $\bar{x}=42.1\pm 16.9$  D.E.), y el resto ( $n=4$ ) tuvieron movimientos de ida y vuelta. Dos individuos recorrieron la distancia desde Alvarado hacia Nautla en tiempos de 5 y 6 días, con una velocidad mínima de nado entre 38 y 46 km d<sup>-1</sup>. Los resultados muestran conectividad limitada, pero posiblemente suficiente para promover el flujo genético entre los sitios. El menor tamaño poblacional para los delfines en Alvarado posiblemente se debe al alto nivel de competencia con las pesquerías, que puede regular la cantidad de animales presentes en el sitio, aunado a su la compleja estructura social, que puede limitar el ingreso de una alta proporción de individuos nuevos.

**Palabras clave:** ecología de poblaciones, delfines tursiones, golfo de México.

## ABSTRACT

The bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) is possibly the best known dolphin worldwide and their ecology and biology has been widely documented; however, research on this species in Mexico is recent, and the populations of the Gulf of Mexico have been less studied. In this work, we documented the fundamental aspects of the population ecology (distribution, demography, and behavior, including migratory movements) of bottlenose dolphins within the coastal waters of two localities in the State of Veracruz, separated by 230 km (Nautla 48 km<sup>2</sup> and Alvarado 54 km<sup>2</sup>). We carried out 52 photo-identification surveys between July 2002 and September 2003. Search effort was 204.5 h and there were 76.1 h of sightings, where 60 schools were located with a total of 703 dolphins (42 young, 38 calves). Group size was different between sites (Nautla  $\bar{x}= 11.0 \pm 14.1$ , Alvarado  $\bar{x}= 9.3 \pm 8.41$ ) and the relative abundance (dolphins h<sup>-1</sup>) was very variable (Nautla  $\bar{x}= 4.1 \pm 3.7$ , Alvarado  $\bar{x}= 3.5 \pm 1.6$ ). We obtained 2,085 useful photographs of the dorsal fins of these dolphins with low photographic efficiency (31%); which produced 555 records of individuals with high photo-identification efficiency (89%); the latter corresponded to 160 dolphins from Nautla and 92 from Alvarado. Daily absolute abundances averaged 187.0 ( $\pm 132.4$  D.E.) marked individuals in Nautla and 68.6 ( $\pm 35.4$  D.E.) in Alvarado, with a maximum of 636 individuals in both sites combined. The exchange rate between localities was 5%, where eight dolphins emigrated permanently from the source locality within a few days ( $\bar{x}= 42.1 \pm 16.9$  D.E.), and the rest ( $n = 4$ ) had back and forth movements. Two individuals traveled the distance from Alvarado to Nautla in 5 and 6 days, with a minimum swimming speed between 38 and 46 km d<sup>-1</sup>. Our results show limited connectivity, but possibly enough to promote genetic flow between these sites. The smaller population size for dolphins in Alvarado is possibly due to the high level of competition with the fisheries, which can regulate the amount of animals present in the site, coupled with its complex social structure, which can limit the income of a high proportion of new dolphins.

**Keywords:** Population ecology, bottlenose dolphin, Gulf of Mexico

## INTRODUCCIÓN

Los tursiones o toninas (*Tursiops truncatus*; Montagü, 1821) son una de las especies de delfines pantropicales de mayor distribución, más conocidos y estudiados a nivel mundial (Leatherwood y Reeves, 1990; Wells y Scott, 2002; Caballero *et al.*, 2011). Las investigaciones científicas sobre estos animales comen-

zaron en México a finales de los años 80's en el Pacífico y el golfo de California (Ballance, 1992; Defran *et al.*, 1999; 2015) y, aunque se han extendido hacia prácticamente todas las costas del país (Escobar-Lazcano, 2015), son pocos los trabajos que han comparado sus hallazgos entre zonas cercanas para documentar

los movimientos migratorios de la especie en las aguas costeras de México (*i.e.*, Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Caballero *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Ruiz-Hernández, 2014; Delgado-Estrella, 2015; Defran *et al.*, 2015; Segura-García *et al.*, 2018).

Los tursiones son considerados depredadores ápice en sus ecosistemas (Wells *et al.* 2004; Reif *et al.*, 2017) y dada su alta capacidad migratoria, una gran parte de los individuos en las poblaciones de esta especie sirven como vectores de transferencia de materia y energía en los diversos ecosistemas que habitan y entre las diversas redes tróficas a las que contribuyen (Hanson y Defran, 1993; McLellan *et al.*, 2002; Shirihai y Jarret, 2006; Caballero *et al.*, 2011; Delgado-Estrella, 2015; Segura-García *et al.*, 2018). Sin embargo, una fracción de las poblaciones puede permanecer en sitios restringidos durante largos periodos, constituyendo la parte relativamente “estable” de la población que aprovecha los recursos de las comunidades en sitios de alta productividad, como las zonas arrecifales y las desembocaduras de ríos y lagunas costeras (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Vazquez-Castán *et al.*, 2007; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Ruiz-Hernández, 2014; Delgado-Estrella, 2015; Morteo *et al.*, 2014, 2017b).

Diversos estudios han documentado migraciones individuales de corta distancia de entre 10 a 46 km a lo largo de las costas del Atlántico y Pacífico americano (Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Ruiz-Hernández, 2014; Defran *et al.*, 2015; Delgado-Estrella, 2015); aunque en casos excepcionales pueden moverse hasta 800 km en semanas o meses (Defran *et al.*, 2015; Delgado-Estrella, 2015). Estos mo-

vimientos migratorios pueden responder a distintos procesos oceanográficos (*e.g.* frentes oceánicos, surgencias, eventos de El Niño o La Niña), ecológicos (cambios en la productividad y disponibilidad de las presas), biológicos (segregación sexual, ámbito hogareño) o a presiones antrópicas, y contribuyen, en gran medida, al recambio de animales entre las poblaciones modificando los parámetros poblacionales y promoviendo el flujo genético (Islas-Villanueva, 2005; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Caballero *et al.*, 2011; Ruiz-Hernández, 2014; Morteo *et al.*, 2014; Defran *et al.*, 2015; Delgado-Estrella, 2015; Segura-García *et al.*, 2018).

En México, los delfines están protegidos por normas federales (NOM-059-SEMARNAT-2010) y, particularmente, esta especie se encuentra listada en el apéndice II de la Convención Internacional sobre Tráfico de Especies Silvestres (CITES) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), en la categoría de importancia menor; por lo tanto, el estudio de la conectividad entre poblaciones putativas de estos delfines en distintos sitios a lo largo de las costas es de gran relevancia, dado que las variaciones en las condiciones ambientales que enfrentan influyen los parámetros poblacionales (Caballero *et al.*, 2011; Delgado-Estrella, 2015; Morteo *et al.*, 2017a). Por ello, es necesario contar con información cada vez más completa sobre el estado de la especie, y sobre los problemas que enfrenta particularmente en aguas mexicanas. Morteo *et al.* (2017a) describieron una clina morfológica en los tursiones del sureste del golfo de México, que posiblemente deriva de su adaptación a las condiciones ambientales y también apunta hacia la conectividad entre distintos sitios a lo largo de la costa; sin

embargo, aún se desconocen aspectos básicos de las poblaciones de delfines (*e.g.*, distribución, abundancia, tamaño de grupo, estructura de edades, comportamiento) y el nivel del intercambio de individuos (migraciones) en algunos de estos lugares (Delgado-Estrella, 2015; Morteo *et al.*, 2017b). Debido a lo

anterior, el objetivo de este trabajo fue documentar la distribución, los movimientos y las características poblacionales esenciales de los tursiones de forma simultánea en dos sitios de las aguas costeras de Veracruz, inmersas en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México.

## MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

Se estudiaron dos localidades costeras en el norte (Nautla) y centro (Alvarado) del estado de Veracruz, a una distancia de 230 km entre sí (figura 1). Ambas localidades corresponden a sistemas abiertos (*i.e.* sin barreras físicas que impidan el transporte de materia y energía) con alta productividad primaria debido a la influencia de cuerpos de agua terrestres e intensa actividad pesquera artesanal (Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2014; 2017b; Rechimont *et al.*, 2018). Ambas se caracterizan por una plataforma continental extensa con aguas someras (<30 m) expuestas al oleaje inducido por eventos meteorológicos, particularmente las tormentas tropicales, huracanes y principalmente eventos de norte (entre noviembre y febrero) con rachas de viento >80 km h<sup>-1</sup>; sin embargo, durante marzo a junio existe una reducción en la precipitación local, lo que se conoce como temporada de secas (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Ruiz-Hernández, 2014; Delgado-Estrella, 2015; Morteo *et al.*, 2014; 2017b). Tanto Nautla como Alvarado están influen-

ciados por cuerpos de agua del mismo nombre, que tienen gran impacto en la ecología de cada sistema, dada la intrusión de agua salina durante los periodos de marea alta y la expulsión de plumas de agua dulce con extensiones de cientos de metros, o incluso kilómetros, mar a dentro en los meses de lluvias (julio-octubre) (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2012a; 2014; 2017b).

### MUESTREO

Se realizaron navegaciones a bordo de embarcaciones tipo “panga” de 7 m de eslora con motor fuera de borda 40-60 HP. La primera zona correspondió al sur de Nautla (12 km a lo largo de la zona costera a una distancia de 4 km mar adentro), que abarca un área total de 48 km<sup>2</sup>; la segunda en la desembocadura del sistema lagunar de Alvarado (9 km a cada lado con una distancia de 3 km mar adentro) con un área total de 54 km<sup>2</sup>. Las navegaciones en Nautla siguieron una forma de “S”, mientras las de Alvarado fueron transectos paralelos a la costa; los recorridos se diseñaron para cubrir la mayor área posible y aumentar las probabilidades de avistar delfines, de acuerdo

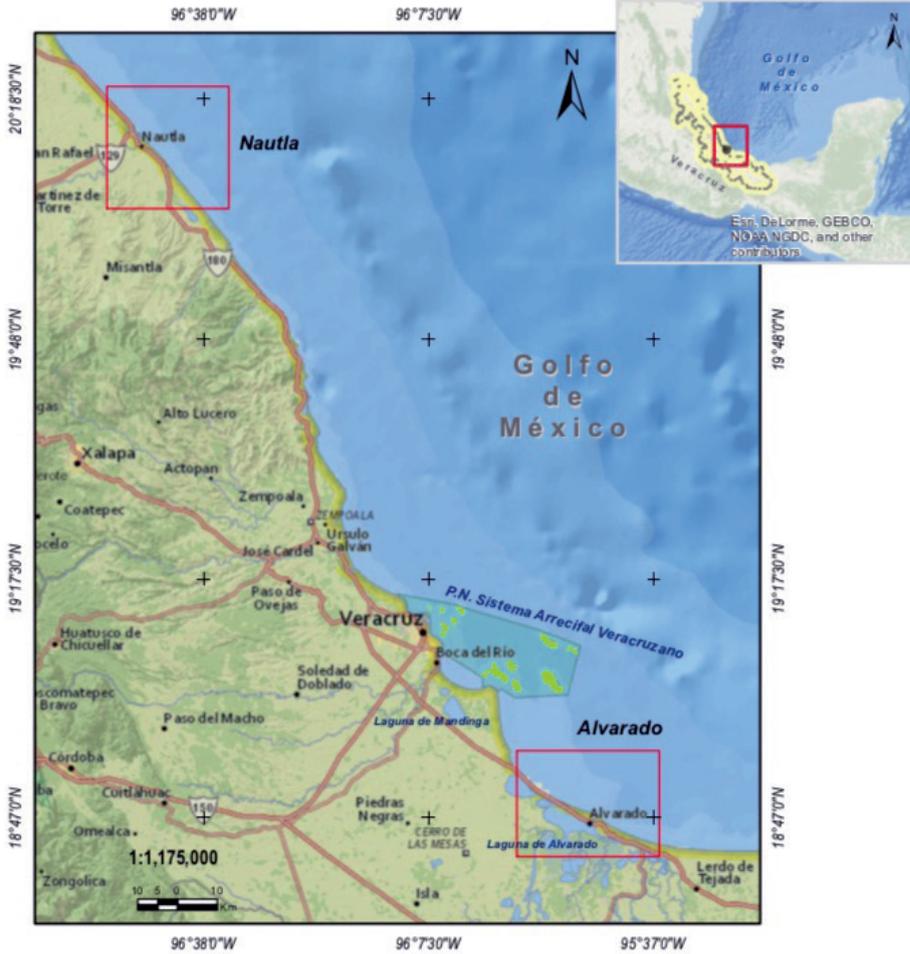


Figura 1. Localización de los sitios de estudio en el suroeste del golfo de México.

con las características batimétricas y el hábitat característico del ecotipo costero de los turiones (Morteo *et al.*, 2012a)

Se realizaron tres navegaciones consecutivas por mes a baja velocidad ( $<18.5 \text{ km hr}^{-1}$ ) en cada sitio de estudio a lo largo de un año. Todos los recorridos contaron con al menos con dos observadores, un anotador y un motorista (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Morteo *et al.*, 2004; Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Are-

llanes *et al.*, 2011; Ruiz-Hernández, 2014; Delgado-Estrella, 2015; Morteo *et al.*, 2012a; 2014; 2017b). La profundidad de cada área de estudio se obtuvo mediante ecosondas (*Hondex, Digital Depth Sounders* y *Garmin Ecosounder 250C*) y con los datos obtenidos se generaron modelos batimétricos de cada área calculados mediante una interpolación con el método Kriging en el Programa Surfer Ver. 8 (Morteo, 2002; Morteo *et al.*, 2004).

## AVISTAMIENTOS

Al encontrar una manada de delfines, se pausaba el cronómetro (tiempo efectivo de búsqueda) y se procedía con la toma de datos del avistamiento. Primero se registró su comportamiento siguiendo el método *ad libitum* (Altman, 1974) y procurando navegar de forma paralela en su dirección de nado a una distancia promedio de 30 m para reducir el riesgo de perturbarlos. Se usaron las categorías más comunes en estudios etológicos para la especie, que consisten en: alimentación, tránsito, juego, social/sexual, descanso, evasión, e indeterminado (Morteo, 2002; García-Vital *et al.*, 2015; Morteo *et al.*, 2004; 2015; Morales-Rincon, 2016).

La localización geográfica de cada avistamiento (posición más cercana) se registró con un GPS (*Garmín, Mod. eTrex 30*) y se obtuvo el tamaño del grupo (número de individuos observados) y la composición y estructura de los grupos cuando fue posible (clases de edad). El número total de individuos observados se estimó por consenso entre los observadores mediante la regla de la cadena (Shane, 1980; Irvine *et al.*, 1981; Morteo, 2002; Morteo *et al.*, 2004); la estructura de edades se obtuvo mediante la comparación del tamaño de los animales usando como referencia la embarcación, y se dividieron en adultos, jóvenes y crías (Heckel, 1992; Morteo, 2002; Morteo *et al.*, 2004).

Posteriormente, se fotografiaron las aletas dorsales con el fin de identificar a los delfines de manera individual utilizando sus marcas naturales, procurando tomas de ambos lados de cada aleta, hasta que: 1) los delfines se perdieran de vista, 2) los fotógrafos consideraran haber fotografiado a todos los individuos presentes en el grupo, 3) que los

delfines estuvieran evasivos y eso dificultara la toma de fotografías, o 4) se considerara que su conducta era afectada por la presencia de la embarcación (Defran *et al.*, 1999; Morteo, 2002; Morteo *et al.*, 2004; 2014).

Se usaron dos cámaras Reflex de 35 mm (Canon EOS REBEL 2000), con apertura automática, autofocus, y lentes zoom (50, 70-300 y 75-300 mm dependiendo de la cercanía de los animales). Se usó película blanco y negro Kodak Tri-X-pan ASA 400 (Defran *et al.*, 1999) y los rollos se etiquetaron utilizando una clave integrada por el área de estudio (NAU o ALV), las iniciales del fotógrafo (VDC o TRR) y un número consecutivo (001) (ejemplo ALVVDC001) (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Delgado-Estrella, 2015).

## ANÁLISIS DE DATOS

### Fotoidentificación

El material fotográfico se reveló mediante el proceso estándar para rollos ASA 400 blanco y negro; los negativos se cortaron en tiras de cinco y se colocaron en hojas protectoras ordenados con etiquetas con los datos del avistamiento (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Defran *et al.*, 1999; Morteo, 2002; Morteo *et al.*, 2004). Se revisaron en negatoscopio y con lupas 10X, eligiendo las fotos de mejor calidad, comparando cada una de las aletas dorsales de los delfines fotografiados. Se midió la eficiencia fotográfica (EF) dividiendo el número total de cuadros útiles, entre el total de cuadros de todos los rollos tomados en cada avistamiento (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Morteo, 2002; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2014). La EF se usa para determinar posibles sesgos en el uso de la técnica de fotoidentificación a lo largo del muestreo (Morteo, 2002). Entre los factores que influ-

yen en este indicador; se encuentran la habilidad del fotógrafo, además de las condiciones ambientales (principalmente visibilidad, nubosidad, escala Beaufort), así como de la conducta de los delfines. Además, se calculó la eficiencia de individualización (*Ef-id*), dividiendo el total de delfines fotoidentificados entre el total de delfines adultos (que son los que comúnmente tienen marcas) observados en cada avistamiento (Morteo *et al.*, 2014). Se consideraron “marcados” a los individuos fotografiados por primera vez y “recapturas” a todas las identificaciones fotográficas posteriores (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Morteo, 2002; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2014). El proceso fue revisado al menos por tres personas entrenadas en fotoidentificación y se construyó un catálogo final que contuvo información sobre la manera en que los individuos transitan dentro y entre las zonas de estudio.

### **Distribución espacial**

Las coordenadas (grados decimales) de cada avistamiento se graficaron en mapas de los sitios de estudio de acuerdo con la profundidad. Posteriormente se revisaron las zonas con mayor incidencia de avistamientos para determinar visualmente la existencia de algún patrón de agregación o de segregación espacial (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Morteo, 2002; Morteo *et al.*, 2004).

### **Distribución temporal**

El número de delfines observados conforme al tiempo de búsqueda se usó como *proxi* de la distribución temporal de la especie en cada sitio (abundancia relativa) (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Morteo, 2002; Del Castillo, 2010; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Morteo

*et al.*, 2012a). Los datos se compararon entre temporadas climáticas “nortes” (noviembre a febrero), “lluvias” (julio a octubre), y “secas” (marzo a junio) a través de pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis).

### **Abundancia absoluta**

Se calcularon curvas de descubrimiento de nuevos individuos (similares a las de rarefacción) para cada sitio estudiado, lo que permite inferir la eficiencia del muestreo fotográfico con base en el tamaño poblacional, así como posibles eventos de inmigración (Morteo *et al.*, 2012b). Se eligió el modelo Jolly-Seber para poblaciones abiertas, usando los datos fotográficos de la técnica de “marca-recaptura” implementado en el programa SocProg 2.4 (Whitehead, 2009). El tamaño de la población marcada se calculó para cada sitio y en conjunto para ambos sitios suponiendo que pertenecen a una sola población.

### **Tamaño, composición y comportamiento de los grupos**

El número de delfines en cada manada observada se comparó mediante una tabla de contingencia ( $\chi^2$ ) para determinar posibles diferencias en las agrupaciones de cada sitio de estudio (Morteo, 2002; Del Castillo, 2010). La actividad más frecuente de los grupos se obtuvo mediante las proporciones de cada actividad y también se compararon entre sitios mediante tablas de contingencia ( $\chi^2$ ).

### **Migraciones**

Se usó la identidad de los delfines para determinar el tiempo que permanecieron en cada sitio, así como la tasa de intercambio de individuos entre sitios (Defran *et al.*, 2015; Delgado-Estrella, 2015). Se calculó la proba-

bilidad de que un individuo permanezca en un lugar o migre a lo largo del tiempo (Ruiz-Hernández, 2014) conocida como tasa de

identificación “agregada” usando SocProg 2.4 (Whitehead, 2009).

## RESULTADOS

### ESFUERZO DE MUESTREO

Entre julio 2002 y septiembre 2003 se hicieron 52 navegaciones que acumularon 204.5 h de esfuerzo de búsqueda y 76.1 h de avistamientos. Se observaron 60 grupos en los que se contaron 703 delfines, de los cuales el 42 fueron jóvenes y 38 crías. (tabla 1).

### ESFUERZO FOTOGRAFICO

Se tomaron 6 746 fotografías de delfines, de las cuales sólo 2 085 resultaron útiles para fotoidentificación (EF=31 %) (tabla 2). Del total de delfines avistados, considerados como adultos (N=623), se individualizaron a 555 (Nautla=247, Alvarado=308), lo que correspondió con una eficiencia de individualización (Ef-id) del 89 % en los que 114 individuos fueron identificados sólo una vez, mientras que 106 fueron registrados entre dos y cinco ocasiones, y sólo 19 delfines fueron fotografiados entre seis y 10 fechas de muestreo diferentes. El número de individuos distintos identificados para Nautla fue de 160 y de 92 para Alvarado; en ambos casos la curva de descubrimiento no fue asintótica (figura 2), por lo que no todos los delfines presentes en la población pudieron ser identificados. A pesar de que fueron observados más delfines en Alvarado (tabla 2), la tasa de descubrimiento de individuos nuevos fue más alta para Nautla, lo cual implica una proporción mayor de delfines nuevos que ingresan continuamente a esa zona de estudio (figura 2).

### DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

La mayoría de los avistamientos se encontraron en aguas cercanas a la costa (profundidad <20 m). En Nautla los grupos se distribuyeron de forma homogénea (figura 3a); por el contrario, los avistamientos se concentraron cerca de la entrada de la laguna en Alvarado (figura 3b).

### DISTRIBUCIÓN TEMPORAL

La abundancia relativa (tabla 2) fue en general mayor, pero no significativamente más alta para Alvarado en comparación con Nautla ( $p>0.05$ ); por otra parte, Nautla presentó una alta variación temporal, lo que no resultó en diferencias significativas a lo largo del año ( $p>0.05$ ); sin embargo, se observó en general una reducción en el número de animales registrados durante la temporada de nortes que fue significativa ( $p<0.05$ ) para las aguas costeras de Alvarado (figura 4).

### ABUNDANCIA ABSOLUTA

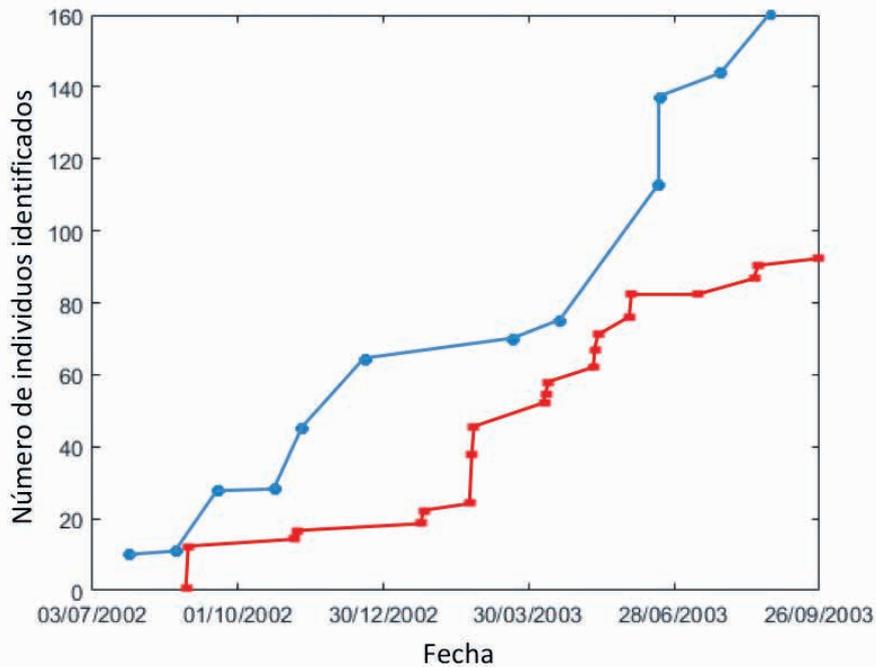
El modelo Jolly-Seber mostró que en el periodo muestreado hubo en promedio 187.0 ( $\pm 132.4$  D.E.) tursiones marcadas en Nautla y 68.6 ( $\pm 35.4$  D.E.) en Alvarado durante cada día de muestreo y el valor promedio para ambos sitios combinados sería de 192.8 ( $\pm 153.7$  D.E.) delfines en cada ocasión de muestreo, con un mínimo de 31 y un máximo de 636 individuos marcados. Se observó una alta inestabilidad en número de individuos esti-

**Tabla 1.** Esfuerzo de muestreo y número de registros de tursiones para los sitios de estudio en las costas de Veracruz. (EB= esfuerzo de búsqueda (h), TA= tiempo de avistamiento (h), Av= número de avistamientos por mes, N= total de individuos avistados).

Nautla								
Mes	Temporada del año	Salidas	EB	TA	Av	N	Jóvenes	Crías
Jul	Lluvias	1	1.7	1.4	1	12	0	2
Ago	Lluvias	1	2.8	0.3	1	5	0	0
Sep	Lluvias	3	7.0	4.3	3	21	0	2
Oct	Lluvias	3	9.6	1.2	3	17	0	2
Nov	Nortes	2	6.0	2.5	2	17	0	2
Dic	Nortes	2	8.1	3.7	2	17	0	1
Mar	Secas	3	9.7	1.2	4	17	0	1
Abr	Secas	3	10.7	1.5	1	8	0	1
Jun	Secas	3	5.3	4.7	4	65	0	1
Jul	Lluvias	2	8.1	1.9	2	21	0	1
Ago	Lluvias	3	6.0	1.8	2	60	0	3
	<b>Subtotal</b>	<b>26</b>	<b>74.94</b>	<b>24.5</b>	<b>25</b>	<b>260</b>	<b>0</b>	<b>16</b>
	<b>Promedio</b>	<b>2.4</b>	<b>6.8</b>	<b>2.2</b>	<b>2.3</b>	<b>23.6</b>	<b>0</b>	<b>1.5</b>
	<b>(D.E.)</b>	<b>0.8</b>	<b>2.9</b>	<b>1.4</b>	<b>1.1</b>	<b>19.9</b>	<b>0</b>	<b>0.8</b>
Alvarado								
Oct	Lluvias	2	11.5	6.0	3	59	0	3
Dic	Nortes	2	8.7	4.5	2	15	0	2
Feb	Nortes	3	14.3	5.1	4	23	2	1
Mar	Secas	3	14.7	5.6	7	61	0	3
Abr	Secas	3	14.0	5.7	4	41	10	2
May	Secas	3	12.3	5.6	3	45	3	2
Jun	Secas	2	10.5	6.2	2	70	1	2
Jul	Lluvias	3	16.3	3.2	2	38	7	2
Ago	Lluvias	3	16.2	6.3	5	65	14	3
Sep	Lluvias	2	11.2	3.5	3	26	5	2
	<b>Subtotal</b>	<b>26</b>	<b>129.5</b>	<b>51.6</b>	<b>35</b>	<b>443</b>	<b>42</b>	<b>22</b>
	<b>Promedio</b>	<b>2.6</b>	<b>13.0</b>	<b>5.2</b>	<b>3.5</b>	<b>44.3</b>	<b>4.2</b>	<b>2.2</b>
	<b>(D.E.)</b>	<b>0.5</b>	<b>2.5</b>	<b>1.1</b>	<b>1.6</b>	<b>19.1</b>	<b>4.8</b>	<b>0.6</b>
	<b>Total</b>	<b>52</b>	<b>204.5</b>	<b>76.1</b>	<b>60</b>	<b>703</b>	<b>42</b>	<b>38</b>

**Tabla 2.** Abundancia relativa y esfuerzo de muestreo fotoidentificación de tursiones para ambos sitios de estudio en las costas de Veracruz. (AR= individuos observados por hora, Ftot=fotografías totales, Fut=fotografías útiles, EF=eficiencia fotográfica, F-id= individuos fotoidentificados, Ef-id= eficiencia de fotoidentificación)..

Nautla								
Mes	Temporada	AR	Ftot	Fut	EF	Delfines adultos	F-id	Ef-Id
Jul	Lluvias	7.2	72	10	0.14	10	3	0.30
Ago	Lluvias	1.8	4	2	0.50	5	1	0.20
Sep	Lluvias	3.0	176	51	0.29	19	8	0.42
Oct	Lluvias	1.8	27	12	0.44	15	3	0.20
Nov	Nortes	2.8	351	70	0.20	15	12	0.80
Dic	Nortes	1.7	317	112	0.35	16	15	0.94
Mar	Secas	1.7	39	6	0.15	16	4	0.25
Abr	Secas	0.5	109	39	0.36	7	7	1.00
Jun	Secas	11.5	1321	464	0.35	64	64	1.00
Jul	Lluvias	2.6	197	73	0.37	20	8	0.40
Ago	Lluvias	10.0	779	296	0.38	57	44	0.77
<b>Subtotal</b>			<b>3392</b>	<b>1135</b>	<b>0.33</b>	<b>244</b>	<b>169</b>	<b>0.69</b>
<b>Promedio</b>		<b>4.1</b>	<b>308.4</b>	<b>103.2</b>	<b>0.32</b>	<b>22.2</b>	<b>15.4</b>	<b>0.58</b>
<b>(D.E.)</b>		<b>3.7</b>	<b>402.3</b>	<b>145.9</b>	<b>0.12</b>	<b>19.6</b>	<b>20.0</b>	<b>0.32</b>
Alvarado								
Oct	Lluvias	5.1	650	40	0.06	56	48	0.86
Dic	Nortes	1.7	101	18	0.18	13	13	1.00
Feb	Nortes	1.6	75	17	0.23	20	11	0.55
Mar	Secas	4.2	345	120	0.35	58	49	0.84
Abr	Secas	2.9	696	172	0.25	29	51	1.76
May	Secas	3.7	333	108	0.32	40	30	0.75
Jun	Secas	6.6	767	312	0.41	67	49	0.73
Jul	Lluvias	2.3	46	11	0.24	29	18	0.62
Ago	Lluvias	4.0	324	144	0.44	48	45	0.94
Sep	Lluvias	2.3	17	8	0.47	19	15	0.79
<b>Subtotal</b>			<b>3354</b>	<b>950</b>	<b>0.28</b>	<b>379</b>	<b>329</b>	<b>0.87</b>
<b>Promedio</b>		<b>3.5</b>	<b>335.4</b>	<b>95.0</b>	<b>0.29</b>	<b>37.9</b>	<b>32.9</b>	<b>0.88</b>
<b>(D.E.)</b>		<b>1.6</b>	<b>283.5</b>	<b>97.7</b>	<b>0.13</b>	<b>18.7</b>	<b>17.1</b>	<b>0.32</b>
<b>Total</b>			<b>6746</b>	<b>2085</b>	<b>0.31</b>	<b>623</b>	<b>498</b>	<b>0.80</b>



**Figura 2.** Curvas de aparición de nuevos individuos fotoidentificados entre julio 2002 y septiembre 2003 en Nautla (círculos azules, n=160) y Alvarado (rectángulos rojos, n=92).

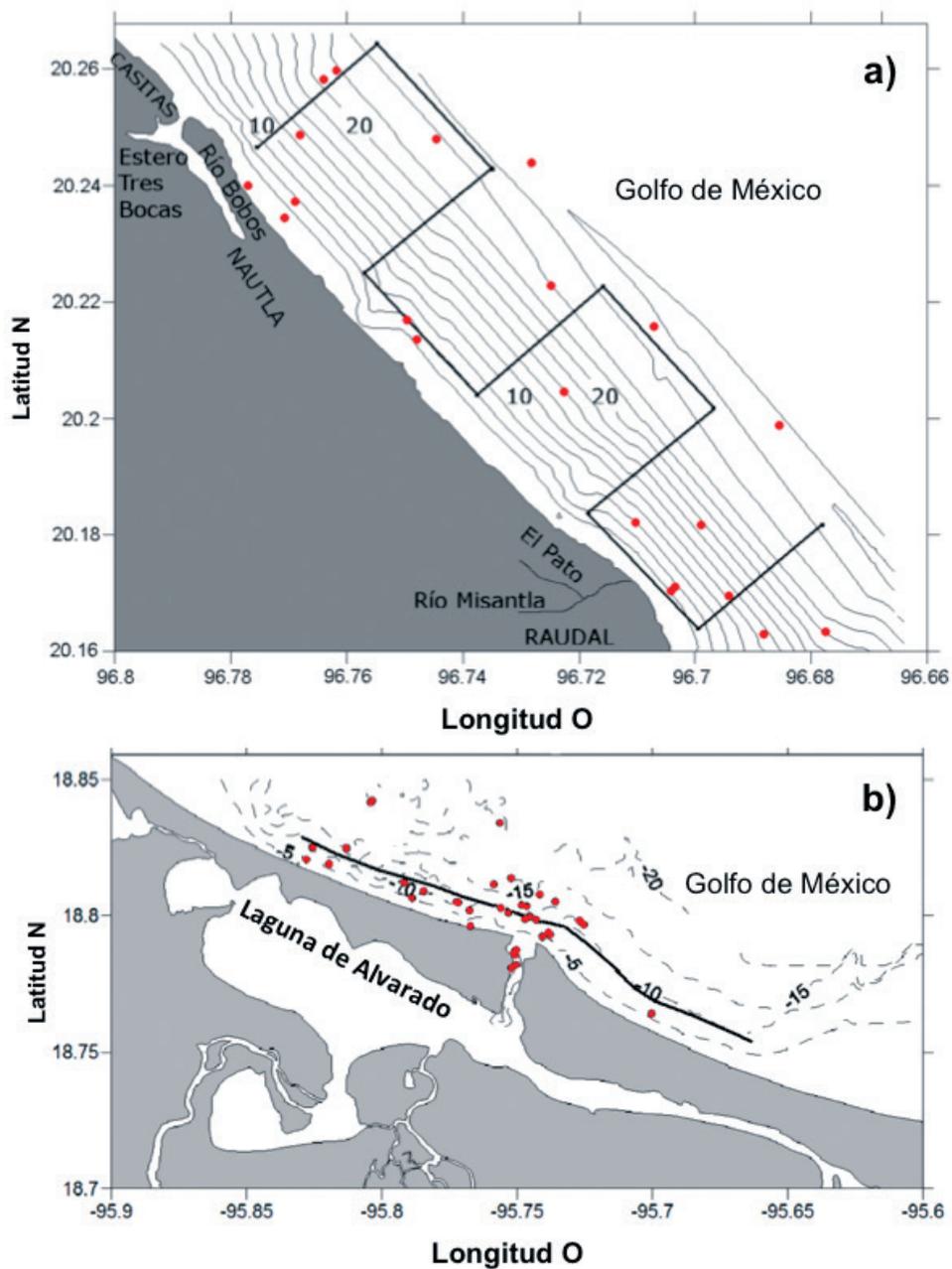
mados para cada fecha de muestreo (figura 5) y los datos que más contribuyeron a dicha variación fueron los de Nautla, en los que varias fechas mostraron fallas de convergencia numérica del modelo. Por otra parte, los datos de Alvarado fueron más estables y permanecieron en general alrededor de la media (ca. 70 individuos marcados).

#### TAMAÑO, COMPOSICIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LOS GRUPOS

El tamaño promedio de grupo fue de 11.0 (D.E.= 14.1) delfines para Nautla y fueron significativamente más grandes que en Alvarado ( $p < 0.01$ ), con un promedio de 9.3 (D.E.= 8.41), ya que en este último sitio el 71% de los avistamientos tuvieron 10 animales o menos (figura 6).

En cuanto a la estructura de edades, en general se observó prácticamente la misma proporción de crías en ambos sitios (Nautla=6%, Alvarado=5%); Alvarado tuvo 9% de individuos jóvenes y esta categoría no fue registrada en Nautla, por lo que la proporción de adultos fue significativamente distinta ( $p < 0.001$ ) entre sitios (Nautla=94%, Alvarado=86%) (tabla 1).

El comportamiento más frecuente fue la alimentación (38 y 36 %), y el tránsito ocurrió en la misma medida para ambos sitios (21 %); sin embargo, se observaron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en la frecuencia de las conductas registradas como juego, evasión y el comportamiento social/sexual (figura 7).



**Figura 3.** Distribución espacial de grupos de tursiones (círculos rojos) en cada sitio de estudio, a) Nautla, b) Alvarado. Los recorridos de muestreo se indican con la línea negra continua y las isóbatas (m) en líneas delgadas paralelas a la costa.

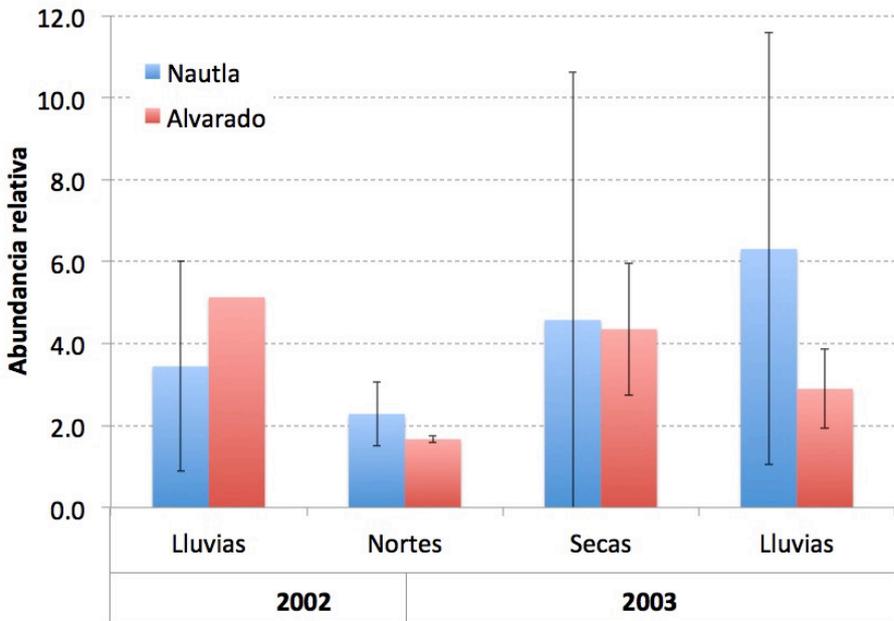


Figura 4. Promedios de abundancia relativa (tursiones observados h-1) por temporada entre julio 2002 y septiembre 2003 para ambos sitios de estudio. Las líneas verticales indican la desviación estándar (Nautla=26 y Alvarado=26 navegaciones).

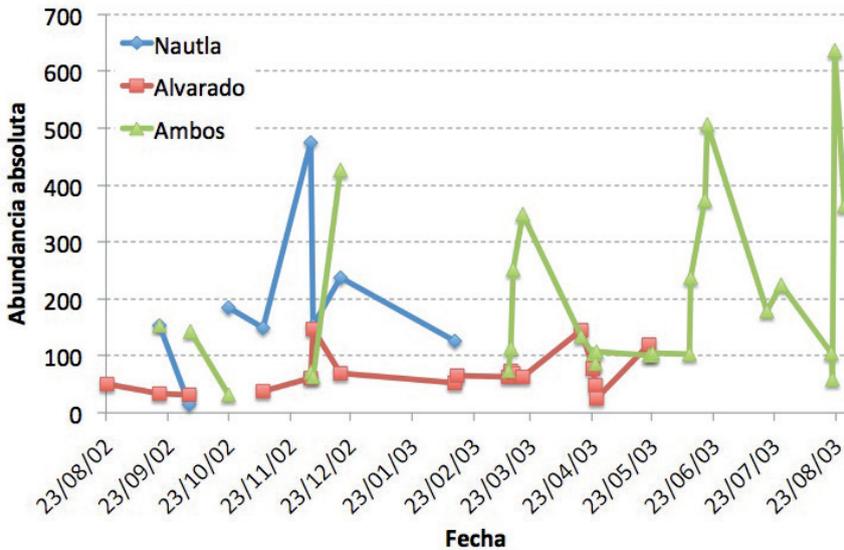
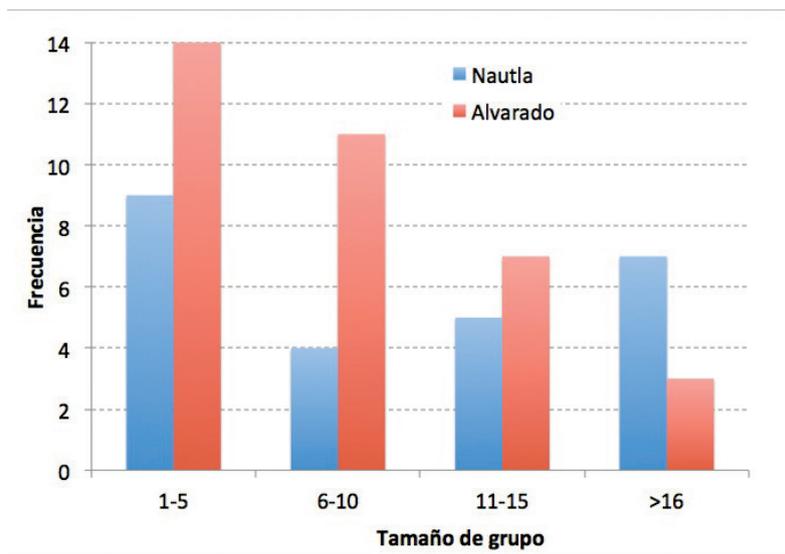
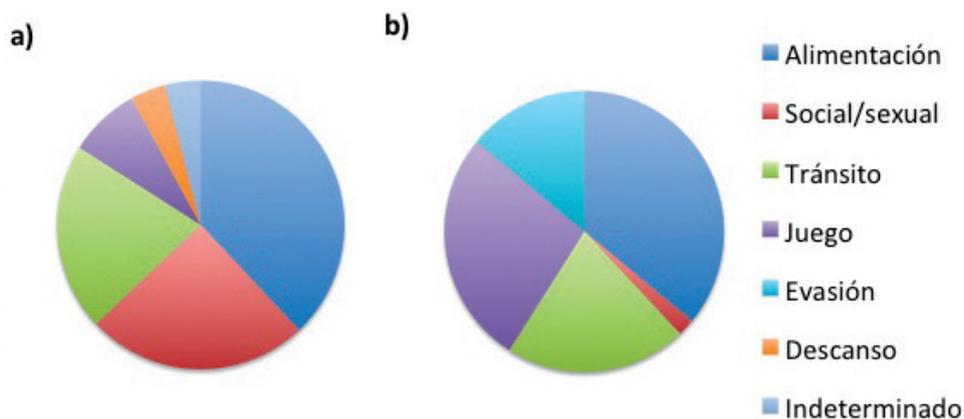


Figura 5. Abundancia absoluta diaria (Jolly-Seber) de tursiones fotoidentificados para cada sitio y para ambos sitios de estudio combinados (Nautla=160 y Alvarado=92).



**Figura 6.** Histograma del tamaño de grupo de los tursiones observados entre 2002 y 2003 en ambos sitios de estudio (Nautla=25 y Alvarado=35 grupos).



**Figura 7.** Proporción de registros de comportamiento observados para los grupos de tursiones en las aguas costeras de: a) Nautla (n=25) y b) Alvarado (n=35), Veracruz.

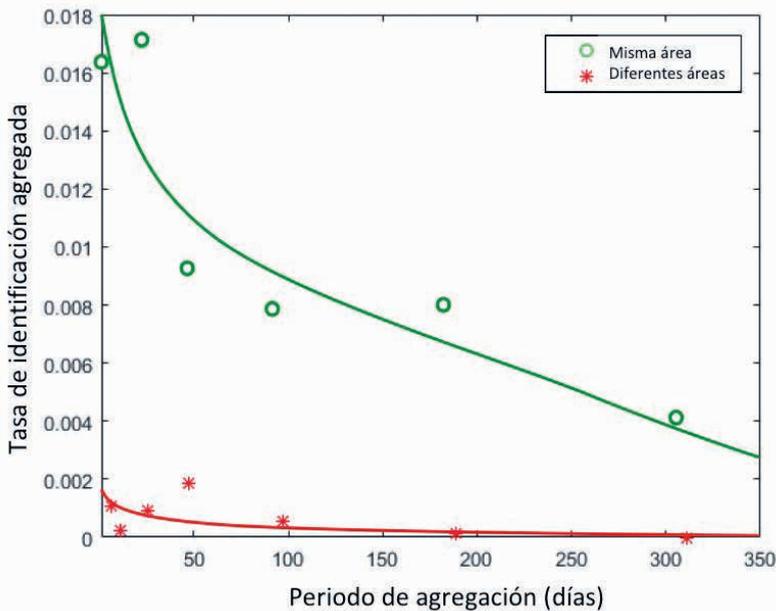
## MIGRACIONES

La proporción de individuos identificados en el mismo sitio durante el año de muestreo fue del 48 % para Nautla, con un máximo de cinco ocasiones; en contraste, en Alvarado el 80 % fueron observados más de una vez, con un máximo de diez recapturas. El tiempo promedio entre recapturas consecutivas para los individuos que no migraron fue de 25.5 (D.E.=58.8) días para Nautla y 18.3 (D.E.=21.4) días para Alvarado.

Por otra parte, de los 160 delfines fotoidentificados para Nautla y los 92 para Alvarado, hubo 12 individuos comunes, lo que implica una tasa de intercambio del 5 %, considerando una sola población marcada. De estos individuos, ocho emigraron permanentemente de la localidad de origen en un tiempo promedio de 42.1 (D.E.=16.9) días y los otros cuatro tuvieron movimientos de ida y vuelta

en un tiempo promedio de 40.8 (D.E.=47.0) días, donde el último lugar de registro fueron las aguas costeras de Alvarado; sin embargo, se destacan los casos de dos individuos que recorrieron la distancia desde Alvarado hacia Nautla en tiempos de 5 y 6 días, con una velocidad mínima de nado entre 38 y 46 km d<sup>-1</sup>.

Por ello, la probabilidad de identificación de individuos (tasa de identificación agregada) disminuyó progresivamente reforzando las evidencias de poblaciones abiertas (figura 8). Con base en estos datos, la tasa de reinmigración al sitio en general fue baja (<2 %), pero fue mayor para Alvarado (2.4 %) que para Nautla (0.9 %). Por otra parte, aunque la tasa general de intercambio de individuos entre sitios fue un orden de magnitud más baja (<0.2 %), el cálculo mostró una tendencia 40% más alta de migración hacia Alvarado que hacia Nautla (figura 8).



**Figura 8.** Proporción de registros de comportamiento observados para los grupos de tursiones en las aguas costeras de: a) Nautla (n=25) y b) Alvarado (n=35), Veracruz.

## DISCUSIÓN

### ESFUERZO DE MUESTREO Y FOTOGRAFICO

El número de navegaciones y el tiempo efectivo de búsqueda reportados en este trabajo son consistentes con estudios similares en las aguas mexicanas del golfo de México (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Del Castillo, 2010; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2012a; Delgado-Estrella, 2015), por lo que la comparación de estos resultados con los datos de dichos estudios es factible.

La eficiencia fotográfica fue relativamente baja (EF=31 %), pero no dista de lo reportado en otras contribuciones (Heckel, 1992, Schramm, 1993; Del Castillo, 2010; Defran *et al.*, 2015; Delgado-Estrella, 2015). En cambio, la eficiencia de individualización fue alta (89 %), pero el gran número de individuos nuevos no permitió identificar a todos los animales de la población en cada sitio de estudio (figura 2). Esto indica que se trata de poblaciones abiertas o subpoblaciones de una metapoblación, que se encuentran sujetas a la continua migración de individuos, situación que ha sido ampliamente documentada en las poblaciones mexicanas de esta especie (Islas-Villanueva, 2005; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Caballero *et al.*, 2011; Ruiz-Hernández, 2014; Defran *et al.*, 2015; Delgado-Estrella, 2015; Morteo *et al.*, 2014; 2017; Segura-García *et al.*, 2018).

### DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Las áreas de estudio representaron hábitats costeros de baja profundidad ( $\pm 20$ -30m), modulados por el efecto de los cuerpos de agua insulares que son típicos del golfo de

México (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Del Castillo, 2010; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Delgado-Estrella, 2015). Dada la influencia de las corrientes oceánicas, la marea y las descargas pluviales, se sabe que en general los grupos de delfines de esta especie confluyen muy cercanos a la costa en un radio aproximado de 5.5 km en las inmediaciones de desembocaduras de ríos y lagunas costeras (Ballance, 1992; Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Del Castillo, 2010; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2012a; La Fauci, 2017). Este uso frecuente de las zonas estuarinas arenosas, coincide normalmente con la actividad alimentaria, posiblemente debido a que no hay obstáculos sobre este tipo de fondo, por lo cual los delfines pueden tener mayor capacidad de capturar su alimento en un ambiente libre (Würsig y Würsig, 1979).

De acuerdo con lo anterior, la diferencia en el número (ver tabla 1) y concentración de avistamientos (figura 3) entre sitios es notable, específicamente en la desembocadura de la laguna de Alvarado. En este sentido, según datos oficiales, la cuenca hidrológica del río Papaloapan (que desemboca en la laguna de Alvarado) es una de las más caudalosas del país y presenta una mayor producción pesquera que la de Nautla (INEGI, 2016), esta condición de productividad, puede ser el detonante de la tendencia de agregación de manadas de delfines en Alvarado, ya que los avistamientos frecuentes de esta especie en sitios específicos, suelen reflejar “áreas preferidas”, particularmente de alimentación (Ross *et al.*, 1989; Cockcroft *et al.*, 1990; Martí-

nez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; La Fauci, 2017; Rechimont *et al.*, 2018), lo cual se atribuye comúnmente a una mayor disponibilidad de alimentos en áreas productivas (Hui, 1985).

### DISTRIBUCIÓN TEMPORAL

La abundancia relativa de tursiones en ambos sitios durante el año de muestreo, fue relativamente alta ( $x=3.5$  individuos  $h^{-1}$  de navegación). En diversos estudios se ha observado que este valor comúnmente se encuentra entre 0 y 3 delfines  $h^{-1}$  y que las costas con influencia de cuerpos de agua insulares generalmente presentan valores más altos (Leatherwood, 1979; Shane, 1980; Ross *et al.*, 1989; Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2012a). Las diferencias estacionales en la abundancia, se relacionan con la variación en la productividad de las zonas, dadas las condiciones oceanográficas (*e.g.* temperatura, salinidad, concentración de nutrientes) que resultan en cambios en la abundancia y disponibilidad del alimento (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Del Castillo, 2010; Morteo *et al.*, 2012a).

Aunque en general se observó una mayor abundancia relativa durante la temporada de lluvias, la diferencia no fue estadísticamente significativa; este resultado posiblemente se debe a la alta variación en los datos (figura 4) y a que la potencia de la prueba pudo verse afectada por el bajo número de avistamientos (error tipo I). Por otra parte, dada la distancia entre los sitios de estudio (ca. 230 km) y el aislamiento de las cuencas hidrológicas que derivan en cada lugar, es poco probable que los fenómenos hidrometeorológicos y oceanográficos los influyan simultáneamente o de

la misma manera, lo cual explica las diferentes tendencias temporales, particularmente en Alvarado, donde existió una disminución significativa en la cantidad de animales durante el periodo de nortes.

### ABUNDANCIA ABSOLUTA

El número de animales diario calculado para la fracción de la población marcada fue inestable en general y los datos presentaron inconvenientes para algunas estimaciones, particularmente en el caso de Nautla. Los cálculos fueron más precisos y persistentes para la población marcada en Alvarado, lo que indica que el efecto puede ser derivado de altas variaciones poblacionales en Nautla y no de problemas técnicos o logísticos. Para la mayoría de los casos, el número de delfines promedio calculado por día fue tres veces mayor para la zona de Nautla que para Alvarado, por lo que probablemente las altas variaciones implican eventos rápidos de inmigración y emigración y que una población más grande y abierta utiliza con mayor frecuencia la parte norte del área de estudio (Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2017b). Es importante mencionar que, dado que las aguas costeras de Alvarado son más productivas que las de Nautla, se esperaba un mayor número de individuos marcados en este sitio y los resultados mostraron exactamente lo opuesto. Este fenómeno puede ser explicado considerando la filopatría y la marcada estructura social observada en Alvarado (Del Castillo, 2010; Morteo *et al.*, 2014), lo que disminuye las posibilidades del ingreso de nuevos individuos. Por otra parte, dado que tanto la cantidad, como la identidad de los delfines presentes en las aguas costeras de Alvarado es muy consistente a lo largo del año (Del Castillo, 2010; Morteo *et al.*, 2014,

2017b), y dada la intensa actividad pesquera en la zona (Morteo *et al.*, 2012a; La Fauci, 2017), también es posible que la demanda alimentaria producida por la competencia interspecífica humano-delfín (Morales-Rincón, 2016; Morteo *et al.*, 2017b; Rechimont *et al.*, 2018), sobrepase la capacidad productiva del hábitat regulando, a su vez, la cantidad de delfines que pueden permanecer en el sitio.

### TAMAÑO, COMPOSICIÓN

#### Y COMPORTAMIENTO DE LOS GRUPOS

El tamaño de los grupos de delfines varía de acuerdo con el comportamiento de los individuos y puede reflejar un equilibrio entre el número de animales necesarios para la defensa contra los depredadores, el acoso intraespecífico y por otra parte fomentar la alimentación eficiente, las interacciones sociales/reproductivas, y la sobrevivencia de las crías (Würsig y Würsig, 1979; Shane, 1980; Ballance, 1992; Wells y Scott, 2002; García-Vital *et al.*, 2015). En los ecosistemas marinos con aguas abiertas, el tamaño promedio de los grupos de tursiones costeros generalmente es mayor a 15 animales y los avistamientos de manadas de tursiones costeros con más de 25 animales son poco comunes (Morteo, 2002; Martínez-Serrano *et al.*, 2011). Se sabe que la profundidad influye en la formación de los grupos de esta especie, por lo que las aguas someras del golfo de México suelen contar con grupos más pequeños (<10 individuos) (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Cortez *et al.*, 2000; Wells y Scott, 2002; Martínez-Serrano *et al.*, 2011).

Las diferencias en el tamaño de grupo entre ambos sitios de estudio pueden explicarse mediante un modelo simple de alimentación, en

el que los grupos de depredadores se ajustan a la dispersión y abundancia de los recursos alimentarios disponibles o de sus depredadores/competidores (Ballance, 1992); en otras palabras, si los delfines no exceden la capacidad del recurso, tendrán mejores posibilidades de alimentarse al usar sus habilidades de ecolocalización en conjunto para ubicar a sus presas, como posiblemente ocurre en Nautla; en contraste, si la especie en cuestión ha excedido la capacidad de su alimento, o es un competidor antagonista (de la pesquería), como ocurre en Alvarado (Morteo *et al.*, 2012a; Rechimont *et al.*, 2018), tendrá mejores posibilidades de alimentarse en grupos pequeños o en solitario (Morales-Rincon, 2016), con la ventaja adicional de reducir la probabilidad de ser lastimados o de morir, simplemente por ser menos conspicuos y más difíciles de ubicar para los humanos (García-Vital *et al.*, 2015; Morteo *et al.*, 2017b).

En lo que respecta a la estructura de edades, la proporción de individuos jóvenes y crías se encuentra dentro de lo reportado para la especie (Leatherwood, 1979; Irvine *et al.*, 1981; Heckel, 1992; Cortez *et al.*, 2000). En este aspecto, se destaca la ausencia de individuos jóvenes en Nautla, por lo que es posible que, a pesar de contar con el mismo método y tripulación, los criterios de clasificación hayan sido inconsistentes durante el muestreo; sin embargo, también es probable que, dada la segregación espacial que existe en esta especie de acuerdo con sus diferentes requerimientos biológicos y las características ecológicas que influyen en el uso del hábitat de los delfines, este grupo de edad haya estado ausente del área de estudio (Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Morteo *et al.*, 2014; La Fauci, 2017).

Diferentes autores (Shane, 1980; Cortez *et al.*, 2000; Wells y Scott, 2002) han sugerido que la comparación de la conducta de los animales en distintas áreas geográficas no es aplicable, ya que ésta puede estar influenciada por un número indeterminado de variables ecológicas y fisiológicas, y las respuestas conductuales pueden diferir considerablemente por la adecuación al hábitat de los animales bajo estudio; sin embargo, Morteo (2002) sugirió que la tendencia general de la conducta en esta especie sigue un patrón: Desplazamiento > Social ó Alimentación > Descanso. Por ello, las proporciones observadas de los despliegues conductuales coinciden en general con los diversos estudios de comportamiento en la especie (Leatherwood, 1979; Del Castillo, 2010; García-Vital *et al.*, 2015; Morteo *et al.*, 2015). No obstante, las diferencias geográficas específicamente en el comportamiento social, de juego y de evasión pueden atribuirse a los distintos niveles de presión humana en cada sitio; por ejemplo, Morales-Rincon (2016) indicó que dada la intensa actividad pesquera, las conductas de los delfines que son más llamativas en la superficie de las aguas costeras de Alvarado, son desarrolladas significativamente con menor frecuencia en presencia de las embarcaciones.

## MIGRACIONES

Diversos estudios sugieren que las grandes distancias recorridas por los delfines se deben principalmente a la búsqueda de sus presas preferidas y parejas potenciales (Defran *et al.*, 1999; Islas-Villanueva, 2005; Caballero *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2014). La distribución discreta de estos recursos a lo largo de la costa, podría inducir en los delfines un modelo de conducta Pavloviano “permanecer si hay

ganancia” y “cambiar si hay pérdida”, como ha sido expuesto en estudios de evolución de la conducta cooperativa, así como en trabajos clásicos sobre comportamiento animal (Axelrod y Hamilton, 1981; Nowak *et al.*, 1995). Por ello, es posible que la variabilidad del alimento y un número potencialmente mayor de parejas, contribuya al aumento de la migración encontrada en los delfines, particularmente de Nautla, los cuales se reubican frecuentemente para aprovechar áreas más favorables a sus necesidades biológicas y ecológicas.

La proporción de individuos marcados que fueron identificados en ambos sitios (5 %) y los que permanecieron en cada área de estudio durante el muestreo (48-80 %) se encuentran en el rango descrito para otras poblaciones de tursiones en el golfo de México (Heckel, 1992; Schramm, 1993; Vázquez-Castán *et al.* 2007; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Ruiz-Hernández, 2014; Morteo *et al.*, 2014; Delgado-Estrella, 2015) y parecen indicar que al menos entre estos dos sitios existe un intercambio individual que puede implicar la existencia de una metapoblación (*i.e.*, subunidades abiertas con núcleos de individuos fieles a sitios provistos de recursos). Por otra parte, los resultados también muestran que la conectividad es limitada, pero posiblemente suficiente para promover el flujo genético entre los sitios (Islas-Villanueva, 2005; Caballero *et al.*, 2011). Cabe destacar que estos valores contrastan grandemente con los reportados para las costas del Pacífico Norte de México y el sur de California, que presentan tasas de intercambio de entre 43-88% para los individuos marcados entre sitios de estudio (Defran *et al.*, 2015). Una posible explicación para estas di-

ferencias puede ser la relativa homogeneidad del hábitat que provee la extensa plataforma continental a lo largo de la costa del golfo de México, en conjunto con alta productividad que es relativamente continua a lo largo del año debido al aporte pluvial (Vázquez-Castán *et al.*, 2007; Martínez-Serrano *et al.*, 2011; Valdés-Arellanes *et al.*, 2011; Delgado-Estrella *et al.*, 2015; Morteo *et al.*, 2017b), en comparación con el fragmentado hábitat y la discontinuidad temporal en la disponibilidad de recursos a lo largo del año que ocurre en el Pacífico (Defran *et al.*, 1999; 2015; ; Morteo *et al.*, 2004; 2017a).

Esto puede propiciar una cierta especialización y mayor fidelidad al sitio por parte de una alta proporción de individuos que permanecen relativamente cerca de hábitats con condiciones predecibles (Defran *et al.*, 2015; Morteo *et al.*, 2014; 2017a,b; Segura-García *et al.*, 2018). Por otra parte, también puede implicar una compleja estructura social que

minimiza la dispersión individual (especialmente en las hembras y sus crías) dada la alta inversión requerida para desarrollar y mantener los lazos sociales (Caballero *et al.*, 2011; Morteo *et al.*, 2014; Defran *et al.*, 2015; Morteo *et al.*, 2017b), como se ha reportado en algunas zonas del sureste del golfo de México (Morteo *et al.*, 2014; García-González, 2015; Bolaños-Durán, 2017). Además, se sabe que el comportamiento exploratorio en busca de presas y parejas potenciales es característico de los machos de esta especie y sirve como estrategia para prevenir la endogamia y promover el flujo genético (Islas-Villanueva, 2005; Caballero *et al.*, 2011; Defran *et al.*, 2015; Morteo *et al.*, 2014; 2017a). Finalmente, tanto el tiempo permanencia como el de viaje entre sitios es consistente con lo reportado para esta especie en las costas del sureste del golfo de México (Ruiz-Hernández, 2014; Delgado-Estrella, 2015).

## CONCLUSIONES

Se observaron diferencias entre sitios para algunos de los parámetros analizados (distribución, abundancia, tamaño de grupo, estructura de edad, fidelidad al sitio y comportamiento), lo que indica que los delfines están sujetos a condiciones de hábitat distintas; sin embargo, se encontró conectividad limitada entre sitios, que posiblemente es suficiente para promover el flujo genético, por lo que puede tratarse de subpoblaciones de una metapoblación.

Se propone que las diferencias poblacionales observadas se deben a presiones de tipo alimentario y social, debido tanto al alto nivel de competencia con las pesquerías, como a la compleja red de asociaciones de los delfines en Alvarado, que pueden modular el número de individuos presentes en la zona.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo formó parte de las tesis de licenciatura de Verónica del Castillo y Tania Ramírez, quienes realizaron las salidas de campo. El material fotográfico fue procesado y analizado por Verónica del Castillo, Tania Ramírez, Eduardo Morteo, Marah García, Blanca Medellín, Isabel Hernández, Jorge Montano y Estrella Molina y posteriormente revisado y actualizado en el LabMMar por Karina Chávez, Ibiza Martínez, Mari Jose Escobar, Iris Ruiz, Mónica Tenorio, Mariana Quiroga, Pamela García, Floryser Ronzón y

Erick Bolaños, quien también procesó los datos de Nautla para SocProg. Los análisis preliminares fueron realizados por Verónica del Castillo y Tania Ramírez y fueron revisados y actualizados por Eduardo Morteo, que en conjunto con Christian Delfin, Javier Bello y Alvar González participaron en la redacción y revisión del manuscrito. Las navegaciones fueron financiadas parcialmente por Enrique Portilla y la familia Ramírez y Romero. El Acuario de Veracruz A.C. financió a Verónica del Castillo para la conclusión de su tesis.

## LITERATURA CITADA

- Altman, J., 1974. Observational study of behavior sampling methods. *Behaviour* 49:227-67.
- Axelrod, R. & W. Hamilton, 1981. The evolution of cooperation. *Science*, 211(27):1390-1396.
- Ballance, L.T., 1992. Habitat use patterns and ranges of the bottlenose dolphin in the Gulf of California, Mexico. *Marine Mammal Science*, 8(3), 262-274.
- Bolaños-Durán E., 2017. Asociaciones de tursiones (*Tursiops truncatus*) en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología*, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 35 pp.
- Caballero S., V Islas-Villanueva, G. Tezanos-Pinto, S. Duchene, A. Delgado-Estrella, R. Sánchez-Okrucky & A. Mignucci-Giannoni, 2011. Phylogeography, genetic diversity and population structure of common bottlenose dolphins in the Wider Caribbean inferred from analyses of mitochondrial DNA control region sequences and microsatellite loci: conservation and management implications. *Animal Conservation*, 15:95–112.
- Cockroft, V.G., G.J. Ross & V.M. Peddemors, 1990. Bottlenose dolphin distribution in Natal's coastal waters. *South African Journal of Marine Science*, 9:1-10.
- Cortez, M.A., H. Pérez & A.V. Lio, 2000. Abundancia y distribución de delfines tonina (*Tursiops truncatus*) en áreas adyacentes a Cayo Coco, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. Informe Final (no publicado), diciembre del 2000. Dolphin Discovery, La Habana, Cuba. 52 p.
- Defran, R.H., D.W. Weller, D.L. Kelly & M.A. Espinosa, 1999. Range characteristics of Pacific coast bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Southern California *Marine Mammal Science*, 15(2):381-393.
- Defran R.H., M. Caldwell, E. Morteo, A.R. Lang, M. Rice & D. Weller, 2015. Possible stock structure of coastal bottlenose dolphins off Baja California and California revealed by photo-identification research. *Bulletin of the Southern California Academy of Science*, 114(1):1-11.

- Del Castillo-Olvera, V., 2010. Biología poblacional del tursiÓN (*Tursiops truncatus*), en la costa de Alvarado, Veracruz, México. *Tesis Licenciatura. Facultad de Biología*, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, Pue., México. 82 pp.
- Delgado-Estrella, A., 2015. Patrones de residencia y movimientos a largo plazo de las toninas *Tursiops truncatus* en la región sureste del Golfo de México. *Therya*, 6(2):297-314.
- Escobar-Lazcano, M.J., 2015. Análisis de tendencias y vacíos en la investigación de mamíferos marinos en México durante el período 1998 al 2014. *Tesis Licenciatura. Facultad de Biología*, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 65 pp.
- García-González, M.A., 2015. Estructura social de toninas *Tursiops truncatus* en la Laguna de Términos, Campeche. *Tesis Maestría, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. 141 pp.
- García-Vital M., Morteo E., Martínez-Serrano I., Delgado-Estrella A., Bazúa-Durán C., 2015. Inter-individual association levels correlate to behavioral diversity in coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from the Southwestern Gulf of Mexico. *Therya*, 6(2):337-350
- Hanson, M.T. & R.H. DeFran, 1993. The behavior and feeding ecology of the Pacific coast bottlenose dolphin *Tursiops truncatus*. *Aquatic Mammals*, 19:127-127.
- Heckel, D.G., 1992. Fotoidentificación de tursiONES *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) en la Boca de Corazones de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México (Cetacea: Delphinidae). *Tesis Licenciatura, Facultad Ciencias*. UNAM. México, D.F. 164 pp.
- Hui, C.A., 1985. Undersea topography and the comparative distribution of two pelagic dolphins. *Fishery Bulletin*, 83(3):472-75.
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI), 2016. Anuario Estadístico y Geográfico del Estado de Veracruz. <http://www.veracruz.gob.mx/finanzas/anuario-estadistico-y-geografico-2017/>
- Irvine, A.B., M.D. Scott, R.S. Wells & J.H. Kaufmann, 1981. Movements and activities of the Atlantic bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, near Sarasota, Florida. *Fishery Bulletin*, 79(4):671-688.
- Islas-Villanueva, V., 2005. Genética de poblaciones y filogeografía de toninas *Tursiops truncatus* en el sur del Golfo de México y el Caribe. *Tesis Maestría en Ciencias, Instituto de Ecología*. Universidad Nacional Autónoma de México. 90 pp.
- La Fauci D., 2017. Segregazione spaziale per classe d'età del Delfino *Tursiops truncatus* Montagu, 1821 della costa centrale di Veracruz, Messico. *Tesis Maestría*. Dipartimento Scienze della Vita e dell' Ambiente, Università Politecnica delle Marche. Ancona, Italia. 43 pp.
- Leatherwood, J.S., 1979. Aerial survey of the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, and the West Indian manatee, *Trichechus manatus*, in the Indian and Banana Rivers, Florida. *Fishery Bulletin*, 77:47-59.
- Leatherwood, S. & R. Reeves, 1990. *The Bottlenose Dolphin*. San Diego: Academic Press, Inc.
- Martínez-Serrano, I., A. Serrano, G. Heckel & Y. Schramm, 2011. Distribución y ámbito hogareño de toninas (*Tursiops truncatus*) en Veracruz, México. *Ciencias Marinas*, 37(4A):379-392.
- McLellan, W.A., A.S. Friedlaender, J.G. Mead, C.W. Potter & D.A. Pabst, 2002. Analysing 25 years of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) strandings along the Atlantic coast of the USA: do historic records support the coastal migratory stock hypothesis?. *Journal of Cetacean Research & Management*, 4(3):297-304.
- Morales-Rincón, N.S., 2016. Comportamiento de tursiones (*Tursiops truncatus*) en la interacción con pesca artesanal en la costa central de Veracruz. *Tesis Maestría. Instituto de Neuroetología*, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México. 86 pp.

- Morteo, E., 2002. Distribución y movimientos del tursión (*Tursiops truncatus*: Montagu, 1821) en las aguas adyacentes a San Quintín, Baja California, México (Cetacea: Delphinidae). *Tesis Licenciatura, UABC*. 146 pp. doi:10.13140/2.1.2602.9125
- Morteo, E., G. Heckel, R.H. Defran & Y. Schramm, 2004. Distribution, movements and group size of the bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) to the south of San Quintín Bay, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 30(1A):35-46
- Morteo E., A. Rocha-Olivares, P. Arceo-Briseño & L.G. Abarca-Arenas, 2012a. Spatial analyses of bottlenose dolphin-fisheries interactions reveal human avoidance off a productive lagoon in the western Gulf of Mexico. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(8):1893-1900.
- Morteo E., A. Rocha-Olivares & R. Morteo, 2012b. Sensitivity analysis of residency and site fidelity estimations to variations in sampling effort and individual catchability. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(2):487-495.
- Morteo E., A. Rocha-Olivares & L.G. Abarca-Arenas, 2014. Sexual segregation in coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the southwestern Gulf of Mexico. *Aquatic Mammals*, 40(4):375-385.
- Morteo, E., I. Martínez-Serrano, I. Hernández-Candelario, I.A. Ruiz-Hernández, & E.C. Guzmán-Vargas, 2015. Distribución, abundancia, residencia y comportamiento del tursión (*Tursiops truncatus*) en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Págs. 209-228. En: Granados-Barba, A., L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al Conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 pp.
- Morteo E., A. Rocha-Olivares, R. Morteo & D.W. Weller, 2017a. Phenotypic variation in dorsal fin morphology of coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) off Mexico. PeerJ5:e3415
- Morteo E., A. Rocha-Olivares & L.G. Abarca-Arenas, 2017b. Abundance, residency and potential hazards for coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) off a productive lagoon in the Gulf of Mexico. *Aquatic Mammals*, 43(3):308-319.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMAR-NAT-2010. Diario Oficial de la Federación (DOF), jueves 30 de diciembre de 2010. SEMARNAT, México.
- Nowak, M.A., R.M. May & K. Sigmund, 1995. The arithmetic of mutual help. *Scientific American*, (junio):76-81.
- Rechimont M.E., A.L. Lara-Domínguez, E. Morteo, I. Martínez-Serrano & M. Equihua, 2018. Depredation by coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the southwestern Gulf of Mexico in relation to fishing techniques. *Aquatic Mammals* 44(5):458-470.
- Reif, J.S., A.M. Schaefer, G.D. Bossart & P.A. Fair, 2017. Health and environmental risk assessment project for bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the southeastern USA. II. Environmental aspects. *Diseases of Aquatic Organisms*, 125(2):155-166. doi:10.3354/dao03143.
- Ross, G.J., V.G. Cockroft, D.A. Melton & D.S. Butterworths, 1989. Population estimates for bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in Natal and Transkei waters. *African Journal of Marine Science*, 8:119-29.
- Ruiz-Hernández, I.A., 2014. Desplazamientos de toninas (*Tursiops truncatus*) en la costa central de Veracruz, México. *Tesis Licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana*. Xalapa, Ver., México. 58 pp.
- Schramm, Y., 1993. Distribución, movimientos, abundancia e identificación del delfín *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) en el sur de la Laguna de Tamiahua, Ver. y aguas adyacentes (Cetacea: Delphinidae). *Tesis Licenciatura, Universidad Autónoma de Guadalajara*. Guadalajara, Jalisco, México. 174 pp.

- Segura-García I., L. Rojo-Arreola, A. Rocha-Olivares, G. Heckel, J.P. Gallo-Reynoso & R. Hoelzel, 2018. Ecoevolutionary processes generating diversity among bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* populations off Baja California, Mexico. *Evolutionary Biology*, 45: 223-2356 <https://doi.org/10.1007/s11692-018-9445-z>.
- Shane, S.H., 1980. Occurrence, movements, and distribution of bottlenose dolphin, *Tursiops aduncus*, in southern Texas. *Fishery Bulletin*, 78(3):593-601.
- Shirihai, H. & B. Jarrett, 2006. *Whales Dolphins and Other Marine Mammals of the World*. Princeton University Press. pp. 155–158.
- Valdés-Arellanes M.P, A. Serrano, G. Heckel, Y. Schramm & I. Martínez-Serrano, 2011. Abundancia de dos poblaciones de toninas (*Tursiops truncatus*) en el norte de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82:227-235.
- Vázquez-Castán L., A. Serrano-Solís, M. López-Ortega, J.A. Galindo, M.P. Valdés-Arellanes & C. Naval-Ávila, 2007. Caracterización del hábitat de dos poblaciones de toninas (*Tursiops truncatus*, Montagu 1821) en la costa Norte del estado de Veracruz, México. *Revista UDO Agrícola*, 7(1):285-292.
- Wells R.S. & M.D. Scott, 2002. Bottlenose dolphins. pp. 122-128. En: Perrin WF, B. Würsig & J. Thewissen (eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press.
- Wells, R.S., H.L. Rhinehardt, L. Hansen, J.C Sweeney, F.L. Townsend, R. Stone, D.R. Casper, M.D. Scott, A. Hohn & T.K. Rowles, 2004. Bottlenose dolphins as marine ecosystem sentinels: Developing a health monitoring system. *EcoHealth*, 1:246–254.
- Whitehead, H. 2009. SOCPROG programs: analysing animal social structures. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 63(5):765–778.
- Würsig, B. & M. Würsig, 1979. Behavior and ecology of the bottlenose dolphin *Tursiops truncatus* in the south Atlantic. *Fishery Bulletin*, 77(4):399-412.

Argüelles Jiménez, J., M.S. Reyes-Reyes, J. Martínez-Cruz, C. Domínguez-Barradas, J. Cipriano-Anastasio y E. Velarde, 2019. El Conocimiento de las Aves en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, p. 215-246. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# El Conocimiento de las Aves en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

*Jimmy Argüelles Jiménez<sup>1</sup>, Mariana Stephanie Reyes-Reyes,  
Juventino Martínez-Cruz<sup>2</sup>, Consuelo Domínguez-Barradas<sup>2</sup>,  
Juan Cipriano-Anastasio<sup>3</sup> y Enriqueta Velarde<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

<sup>2</sup>Laboratorio de Arrecifes Coralinos, FCBA Tuxpan, Universidad Veracruzana

<sup>3</sup>Carrera de Biología del Instituto Tecnológico de Huejutla, Hidalgo

\*cayix24@gmail.com

## RESUMEN

El conocimiento es clave para la gestión y manejo de los recursos costeros, así como el desarrollo de las políticas encaminadas a su protección; sin embargo, aún existen grandes vacíos y retos por cubrir, especialmente en el conocimiento de las aves que habitan en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM). Por lo anterior, la presente investigación constituye una contribución al analizar la información de los estudios realizados en el CASGM, en conjunto con bases electrónicas y datos de campo no publicados. Los estudios dentro del CASGM se han desarrollado en ecosistemas arrecifales y ambientes aledaños (*e.g.* sistemas estuarinos, línea de costa) donde se ha abordado la riqueza específica, estatus de protección, estacionalidad, alimentación y en algunos casos valores de abundancia, densidad y diversidad beta. La riqueza de aves del CASGM es de 262 especies de las cuales 21 se encuentran bajo alguna categoría de protección. El número de especies terrestres (63 %, 165 spp) supera a las costeras (16.8 %, 44 spp) y marinas (17.9 %, 47 spp), mientras que las aves migratorias (60.1 %, 161 spp) superan a las residentes (39.9 %, 107 spp). En relación a su dieta, los componentes más importantes son los invertebrados (51%), pequeños vertebrados (12.9%), las frutas (11.6 %) y los peces (7.7 %). A pesar de que se ha documentado parte de la diversidad aviar del CASGM, el análisis de la diversidad beta sugiere una estrecha conectividad. Es necesario incrementar el esfuerzo de investigación en diversos temas (*e.g.* densidad poblacional, zonas de reproducción, efecto antrópi-

co) y ambientes del CASGM donde el conocimiento es limitado; de esta manera, podremos tener una mejor comprensión de las aves dentro del corredor y generar medidas de manejo adecuadas.

**Palabras clave:** Aves, diversidad, poblaciones, golfo de México.

## ABSTRACT

Knowledge is key to the management of coastal resources, as well as the development of policies aimed at protecting them. However, there are still large gaps and challenges to be filled, especially in the knowledge of birds that inhabit the Reef Corridor of the Southwestern Gulf of Mexico (RC-SGM). Therefore, the present research constitutes a contribution through an analysis of the studies carried out in the RCSGM, in conjunction with electronic databases and unpublished field data. Studies within the RCSGM have been developed in reef ecosystems and surrounding environments (e.g. estuarine systems, coastline) where the specific richness, protection status, seasonality, feeding and in some cases abundance, density and beta diversity values have been addressed. The richness of birds for the RCSGM are composed by 262 species of which 12 are under the category of special protection, four are threatened and five are in danger of extinction. The number of terrestrial species (63%, 165 spp) exceeds the coastal (16.8%, 44 spp) and marine (17.9%, 47 spp), while the migratory birds (60.1%, 161 spp.) surpass the residents (39.9%, 107 spp.). In relation to their diet, the most important components are invertebrates (51%), small vertebrates (12.9%), fruits (11.6%) and fishes (7.7%). Although part of the avian diversity of RCSGM has been documented, the analysis of beta diversity suggests close connectivity. Finally, it is necessary to increase the research effort in various subjects (e.g. population density, breeding areas, anthropogenic effect) and environments of the RC-SGM where knowledge is limited, in this way we can have a better understanding of the birds within the corridor and generate management measures.

**Keywords:** Birds, diversity, populations, Gulf of Mexico.

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento es la llave para la comprensión de los ecosistemas y la formulación de planes de conservación y manejo y de los recursos naturales. Actualmente, una de las formas de conservación y manejo son las áreas naturales protegidas (ANP), las cuales cuentan con un marco legal que avala un plan de manejo y cuyo objetivo es salvaguardar la integridad de los ecosistemas que en ellas se encuentran (AIDA, 2015).

A través de redes de ANP se da la pauta para la creación de corredores biológicos, los cuales son una de las herramientas más efectivas para la conservación de la biodiversidad y el manejo de los recursos (White *et al.*, 2014); sin embargo, para lograr un esquema de pro-

tección y manejo es necesario tener como materia prima el conocimiento de su biodiversidad. El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) es un concepto creado a partir del análisis de la información existente bajo la premisa que los tres grandes sistemas arrecifales inmersos (que se distribuyen a lo largo de 800 km de costa), están estrechamente interconectados (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). No obstante, persisten vacíos de información concernientes a su biodiversidad que deberán ser llenados, especialmente en el taxón de las aves, el cual es considerado uno de los más diversos (Gallardo *et al.*, 2009). Por lo tanto, el presente trabajo hace una revisión de la información publicada sobre la ornitofauna

de la zona y organiza el conocimiento a través de los siguientes tópicos: riqueza específica, estatus de protección, estacionalidad, tipo de dieta, diversidad beta y densidad. En este trabajo no se abordó el efecto antrópico sobre las aves (*e.g.* derrame de aguas residuales, industrias, turismo, aumento de la mancha urbana, ampliación de puertos marinos) debido a que la información existente en la literatura es escasa para ciertas localidades, y no se centra es-

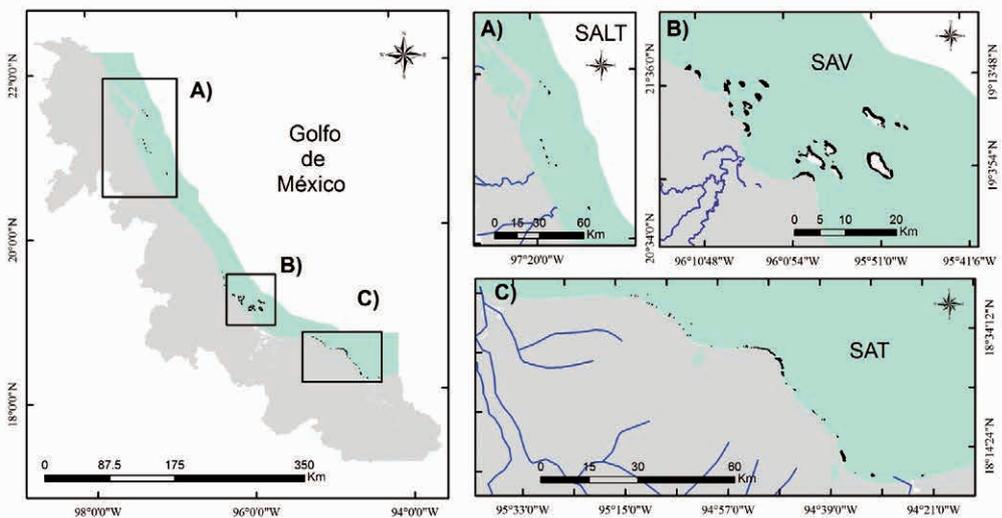
pécificamente en el efecto antrópico sobre las aves. Por ello, y para no extrapolar efectos que son desconocidos para los autores este tópico no fue abordado, pero es importante recalcar que este tema es uno de los huecos de información más relevantes en la implementación de medidas de conservación de largo plazo en la región, para este grupo de especies y componente de los ecosistemas.

## MÉTODOS

### DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) está integrado por el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y Sistema Arrecifal Los Tuxtlas (SAT), los cuales se

distribuyen sobre la plataforma continental veracruzana desde Cabo Rojo, en la laguna de Tamiahua, hasta la desembocadura del río Coatzacoalcos (figura 1) (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).



**Figura 1.** El CASGM y sus tres sistemas arrecifales sobre la batimetría de 200 m en color verde turquesa: A) Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), B) Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y C) Sistema Arrecifal Los Tuxtlas (SAT). Los ríos se muestran en líneas azules y la zona de verde turquesa corresponde a la isobata de los 200 m.

Los sistemas del CASGM se encuentran interconectados con la línea costera y los sistemas estuarinos aledaños, por lo que cada sistema arrecifal aquí referido, es un compendio de tres ambientes: a) estuarino (AE; correspondiente a lagunas costeras, ríos y esteros aledaños), b) línea costera (LC; correspondiente a una franja de 300 m de ancho a partir de la línea costera hacia el mar y 300 m tierra adentro) y c) ambiente marino (AM; correspondiente a la zona marina donde se ubican los arrecifes). Dado que los arrecifes analizados del SAT se localizan cerca de la línea costera, este ambiente se categoriza como costero-marino (ACM).

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

La información analizada proviene de: 1) fuentes bibliográficas, 2) registros de observaciones en páginas web con grado de confiabilidad alto (Naturalista, 2017) y 3) registros de campo realizados en diversas líneas costeras del CASGM (Tuxpan, puerto de Veracruz, Boca del Río, Antón Lizardo, Coatzacoalcos, el sur de la línea costera de los Tuxtlas, a partir de la desembocadura de la laguna de Sontecomapan), ambientes estuarinos (laguna de

Sontecomapan y río Coatzacoalcos), registros realizados durante navegaciones en la zona marina del SAV, y la zona costero-marina del SAT (arrecifes: Zapotitlán, La Perla, Palo seco, Tripie) (tablas 1 y 2). La información de los tres sistemas arrecifales se analizó y clasificó en función de los tres ambientes (tabla 1).

#### MÉTODOS DE CAMPO

En la línea costera norte de Tuxpan se tiene una serie temporal de un año y datos de abundancia de especies, se realizaron transectos lineales paralelos a la línea costera, cada transecto tuvo una longitud de 1 km de largo y 600 m de ancho. En la región marina del SAV se tiene una serie temporal de abundancia de especies de dos años y 5 meses (cubriendo 10 meses de cada año entre 2006 y 2008), en la que se realizaron transectos mar adentro bajo un patrón preestablecido de muestreo (Velarde *et al.*, 2007; Herrera-Alsina, 2009), los recorridos se llevaron a cabo a partir de las 07:00 h y hasta aproximadamente las 14:00 h. En el resto de los ambientes muestreados los datos son binarios (presencia o ausencia) y se tomaron sobre la ribera principalmente en las temporadas de secas y lluvias. Para

**Tabla 1.** Fuentes de la información usada en este trabajo referentes a los sistemas arrecifales del CASGM. Publicados: 1. CONABIO (2002), 2. Carmona *et al.* (2004), 3. Velarde *et al.* (2007), 4. García-Domínguez (2009), 5. Hernández-Hernández (2009), 6. Ramos-Ramos (2010), 7. De Labra (2010), 8. Hernández-Hernández (2012), 9. Mendo-Pascual (2012), 10. Serrano *et al.* (2013), 11. Cipriano-Anastasio (2014), 12. Mendoza-Mar (2014), 13. Argüelles *et al.* (2014a), 14. Argüelles *et al.* (2014b), 15. Argüelles *et al.* (2014c), 16. Argüelles *et al.* (2015), 17. Velarde *et al.* (2015), 18. Argüelles *et al.* (2017), 19. Martínez-Villasis (2010), 20. Velarde *et al.* (2014); registros de observaciones en páginas web: Naturalista (2017); datos de campo: ambientes marcados con una X.

Ambiente	SALT	SAV	SAT
Estuarino	4,5,6,8,10,11,13,14,15,16,18	3,19,20,X	1,2,7,14,19,X
Línea costera	9,12,13,18,X	19,X	1,13,19,X
Marino	16	3,17,19,X	X

**Tabla 2.** Ambientes muestreados en el presente estudio en el CASGM. n = número de transectos de 1 km x 600 m; ST = serie temporal, A = anual, P = parcial; RA = recorridos a pie y RE = recorridos en embarcación.

Ambiente	Localidad	n	ST	Año	Observaciones
Línea costera	Tuxpan	172	A	2015	RA- de 7 a 11 am
	Veracruz puerto	37	P	2015-2017	RA de 7 a 11 h - 15 a 18-h
	Boca del Río	37	P	2015-2017	RA de 7 a 11 h - 15 a 18-h
	Antón Lizardo	15	P	2015-2017	RA de 7 a 11 h - 15 a 18-h
	Coatzacoalcos	40	P	2012-2013	RA de 7 a 11 h - 15 a 18-h
	Sur de los Tuxtlas	60	P	2012-2013	RE de 7 a 11 h - 15 a 18-h
Estuarino	Laguna de Sontecomapan	60	P	2012-2013	RE de 7 a 11 h - 15 a 18-h
	Río Coatzacoalcos	60	P	2012-2013	RE de 7 a 11 h - 15 a 18-h
	Arrecife Zapotitlán	60	P	2012-2013	RE de 7 a 11 h - 15 a 18-h
Zona costero-marina	Arrecife La Perla	60	P	2012-2013	RE de 7 a 11 h - 15 a 18-h
	Arrecife Palo Seco	60	P	2012-2013	RE de 7 a 11 h - 15 a 18-h
	Arrecife Tripié	60	P	2012-2013	RE de 7 a 11 h - 15 a 18-h

identificar algunas especies se utilizaron las guías de campo de Harrison (1997), Howell y Webb (2004), Petracci *et al.* (2005) y Peterson y Chalif (2008). A algunas especies registradas se le tomaron fotografías con diversos equipos fotográficos (*e.g.* Canon Eos Rebel T6 75-300 mm) con la finalidad de sustentar nuevos registros; en este último aspecto se recurrió a especialistas para corroborar la identificación.

#### ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Con la información recabada se elaboró el listado taxonómico usando el criterio de la *American Ornithologist's Union* (por sus siglas en inglés; AOU, 2017), con excepción de la especie *Thalasseus acuflavidus*, que sigue el criterio de la *International Ornithologist Union* que acepta la categoría de esta especie con base en el estudio genético del grupo de Efe *et al.* (2009). La asignación de la categoría de riesgo (vulnerabilidad) se basó en el listado de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2015).

Para el tipo de hábitat, las especies se incluyeron en las categorías de a) aves marinas (MA), aquellas especies que se encuentran principalmente asociadas al mar abierto, aguas costeras y costa para su alimentación, y que ocupan la región aérea o superior a la de la zona marina nerítica y su interface, así como la región costera; b) aves costeras y acuáticas (Co), aquellas especies asociadas a la zona costera como lagunas, manglares, marismas y su interface (Hayman *et al.*, 1986; Harrison, 1983; 1997); y c) aves terrestres, las que están asociadas a la zona terrestre y dependen de forma básica de organismos terrestres para su alimentación, aun cuando ocupen un hábitat costero o acuático (Howell y Webb, 2004; Velarde *et al.*, 2007).

La estacionalidad de las aves se estableció en función a una modificación al criterio de Howell y Webb (2004), por lo que se consideraron cuatro grupos: residentes, residentes de verano, visitantes invernales y transeúntes. Las aves a) Residentes se refiere a las especies

que son residentes reproductivas (aquellas especies que se encuentra de forma permanente en un área a lo largo de todo el año) y residentes no reproductivas (aquellas especies que se encuentra en el área por un largo periodo del año, pero se reproducen en otra). La categoría b) Residente de verano se compone de aquellas especies que se encuentran en el área durante el verano y la abandonan en otoño, mientras que las c) Visitantes de invierno son aquellas especies que se encuentran en esa estación y la abandonan en la primavera. Por último, las d) Especies Transitorias son aquellas que solo se detienen de forma temporal durante su migración; en este grupo, se incluyen a las especies fuera de su distribución natural (*i.e.* no constituye la zona parte de su ruta de migración) y que, al no haber sido registradas previamente en la literatura y páginas web especializadas donde se determina su distribución (*e.g.* Berlanga *et al.*, 2008; *BirdLife International*, 2017; *Cornell-The birds of North America*, 2017), constituyen nuevos registros regionales en la presente investigación. Por otro lado, aquellas especies que no han sido reportadas de manera local, es decir, a nivel de ambientes (*e.g.* artículos, tesis), se le consideran nuevos registros locales, lo cual puede usarse para llevar un seguimiento del incremento en la riqueza aviar de estos ambientes y su ocurrencia tal y como ha hecho Argüelles *et al.* (2015; 2017).

La dieta (peces, vegetación acuática, invertebrados, vertebrados terrestres, frutas, semillas, néctar y sabia, carroña y omnívora) se basó en la modificación de Velarde *et al.*

(2007) a los criterios de Ehrlich *et al.* (1988), Arizmendi *et al.* (1990), Ortiz-Pulido *et al.* (1995) y Gallardo (2003), así como observaciones de campo de los autores de este trabajo.

El grado de conectividad y reemplazamiento de especies entre los tres sistemas arrecifales (SALT, SAV, SAT) y sus ambientes (AE, LC y AM) se determinó a través del índice de diversidad beta de Whittaker ( $\beta$ ) el cual fue obtenido a través de la fórmula:  $\beta = \left( \frac{\sum \alpha}{\alpha_p} \right)$ . De esta manera la  $\beta$  se obtiene al dividir el número total de especies de una localidad ( $\sum \alpha$ ) entre el promedio de la diversidad alfa ( $\alpha_p$ ) de esa misma localidad (Moreno y Halffter, 2001). El índice de  $\beta$  se evaluó a dos niveles (dentro de sistemas arrecifales y entre ambientes que componen al sistema: AE, LC, AM). El rango del valor  $\beta$  va de 1 a 2 y para términos prácticos la  $\beta$  se evaluó en terciles para obtener tres niveles de conectividad: alta (0 a 0.66), media (0.67 a 1.3) y baja (1.34 a 2).

Con la información de abundancia recopilada a través de fuentes bibliográficas y datos de campo, se estimó y promedio la densidad a nivel de ambientes. La densidad se calculó con base al número de organismo de cada especie/la superficie registrada, lo cual da el total de individuos por km<sup>2</sup>.

Por último, es pertinente mencionar que la información recabada procede de diferentes métodos y esfuerzos de muestreo, y que dependiendo de estos factores y de la zona o ambiente de donde proviene, podría estar sesgada. Por lo que los resultados de estos análisis se deberán considerar como preliminares y especulativos.

## RESULTADOS

Del análisis de información se obtuvieron dos componentes ecológicos a describir: 1) comunitario y 2) poblacional. El listado del Anexo 1 aborda de manera general estos dos componentes al incluir: a) las especies de aves registradas en los ambientes que componen e interactúan con cada sistema arrecifal del CASGM y b) los valores de densidad promedio por km<sup>2</sup> en los ambientes donde la información estaba disponible.

### ANÁLISIS COMUNITARIO

Se registraron 262 especies, 168 géneros, 58 familias y 23 órdenes (Anexo 2). De estos

últimos los más diversos por número de especies fueron los Passeriformes (44.2 %, 116 spp), Charadriiformes (16.4 %, 43 spp) y Pelecaniformes (6.9 %, 18 spp), mientras que a nivel de familias sobresalen: Parulidae (9.5 %, 25 spp), Tyrannidae (8 %, 21 spp), Scolopacidae (6.5 %, 17 spp), Laridae (6.1 %, 16 spp) así como Anatidae e Icteriidae con 12 especies (4.6 %) de manera respectiva (figura 2).

De las 262 especies registradas cuatro son nuevos registros para los ambientes costeros del norte del Veracruz (*Trogon melanocephalus*, *Thamnophilus doliatus*, *Sittasomus griseicapillus* y *Cardinalis sinuatus*) y tres para

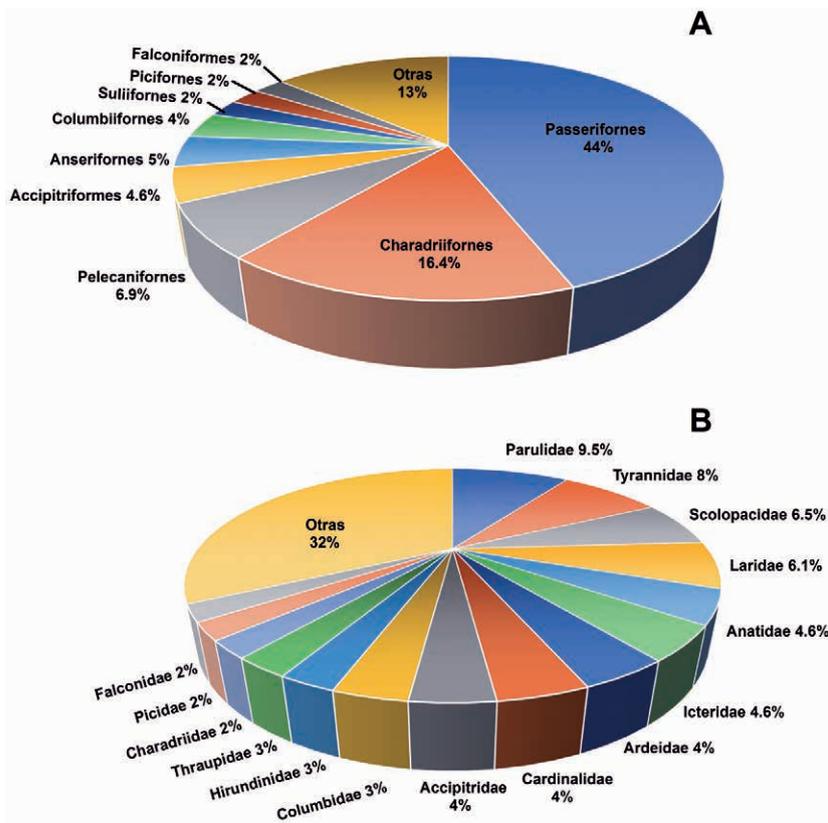


Figura 2. Proporción de especies de aves del CASGM por A) orden y B) familia.

los ambientes costeros del golfo de México (*Streptoprocne semicollaris*, *Stercorarius pomarinus*, *Eudocimus ruber*) (ver Anexo 2). El mayor número de registros de especies se presentó en los ambientes que componen al SALT (85.5 %, 224 spp) en comparación con los obtenidos para el SAV (69.5 %, 182 spp) o el SAT (29.7 %, 78 spp).

De manera general, los ambientes estuarinos (AE) presentaron un mayor número de especies con respecto a las líneas costeras (LC) o el ambiente marino (AM). Con excepción del AM del SAV, en los ambientes del SALT se registraron más especies que en los del SAV y SAT (tabla 3). De esta manera, el AE del SALT contiene el 73.7 % del total de las especies, mientras que su LC y AM tienen el 33.6 % y 24.4 % respectivamente, en contraste, el AE del SAV contiene el 65.6 % mientras que su LC y AM presenta el 19.5 % y 29.4 % de las especies registradas de manera respectiva.

El CASGM contiene 21 especies (4.6 % del total) bajo alguna categoría dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, siendo la categoría de "Protección Especial" (Pr) la que contiene el mayor número de especies (*Tachybaptus dominicus*, *Sternula antillarum*, *Mycteria americana*, *Chondrohierax uncinatus*, *Buteogallus anthracinus*, *B. urubitinga*, *Buteo platypterus*, *B. swainsoni*, *Falco peregrinus*, *Eupsittula nana*, *Psarocolius montezuma*, *Passerina ciris*), seguida de las que se encuentran "En Peligro de Extinción" (P) (*Cairina moschata*, *Ara macao*, *Amazona viridigenalis*, *Geothlypis flavovellata*, *Setophaga chrysoparia*) y "Amenazadas" (A) (*Anas platyrhynchos diazi*, *Aramus guarauna*, *F. femoralis*, *Geothlypis tolmiei*). En general los AE contienen mayor número de especies bajo la categoría de Pr (tabla 3).

Con relación al tipo de hábitat el 63 % de los registros (165 spp.) lo constituyen aves terrestres, mientras las aves costeras (16.8 %, 44 spp.) y marinas (17.9 %, 47 spp.) contienen similar proporción de riqueza específica y solo el 2.3% de las especies se distribuyen en todos los ambientes (*Coragyps atratus*, *Cathartes aura*, *Megaceryle alcyon*, *F. sparverius*, *F. columbarius* y *F. peregrinus*). La importancia de las aves terrestres es similar en los AE, mientras que en la LC y AM destacan las aves costeras y marinas, respectivamente (tabla 3). Por otro lado, dentro de las categorías de estacionalidad las aves transeúntes (25.4 %, 68 spp) son menos numerosas que las visitantes invernales (34.7 %, 93 spp.), a pesar de ello, cuando se consideran en su conjunto dan lugar al grupo de las aves migratorias (60.1 %, 161 spp) más numerosas que las residentes (38.4 %, 103 spp) y las residentes de verano (1.5 %, 4 spp) que llegan sólo para reproducirse, tal y como sucede con *S. antillarum* (tabla 3, figura 3). A nivel de ambientes, el patrón de mayor diversidad de las aves migratorias es consistente, siendo la excepción el AE del SAT donde se contemplan más especies residentes que migratorias (tabla 3).

De los componentes por tipo de dieta, destacan los que consumen invertebrados, aunque su importancia decrece en la LC y AM del SAV y del SAT; en cambio los peces y pequeños vertebrados terrestres incrementan su importancia porcentual en estos ambientes (figura 4).

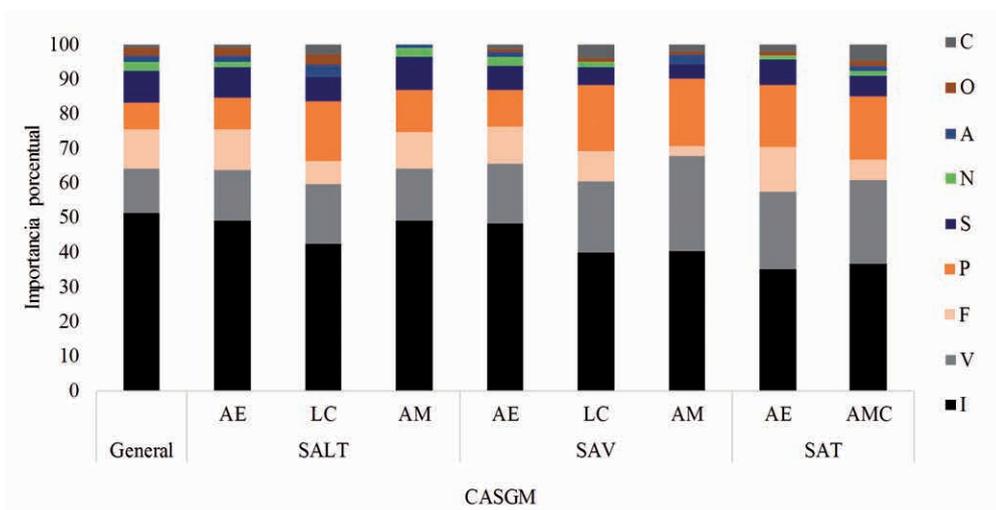
El recambio de especies o conectividad entre ambientes dentro de cada sitio resultó ser mayor para el SAV, que muestra alta conectividad entre sus tres ambientes (figura 5 A-1). Para el SALT la conectividad fue alta entre el

**Tabla 3.** Riqueza específica total y porcentual a nivel de taxones, vulnerabilidad, hábitat y estacionalidad de las aves asociadas a los ambientes de los sistemas arrecifales del CASGM. S: riqueza de especies, %: valores porcentuales de la riqueza de especies, AE: ambiente estuarino, LC, línea costera, AM: ambiente marino, SAL T: Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, SAV: Sistema Arrecifal Veracruzano, SAT: Sistema Arrecifal Los Tuxtlas; Pr: protección especial, Am: amenazada, P: en peligro de extinción; R: residente, VI: visitante invernal, Tr: transeúnte, RV: residente de verano.

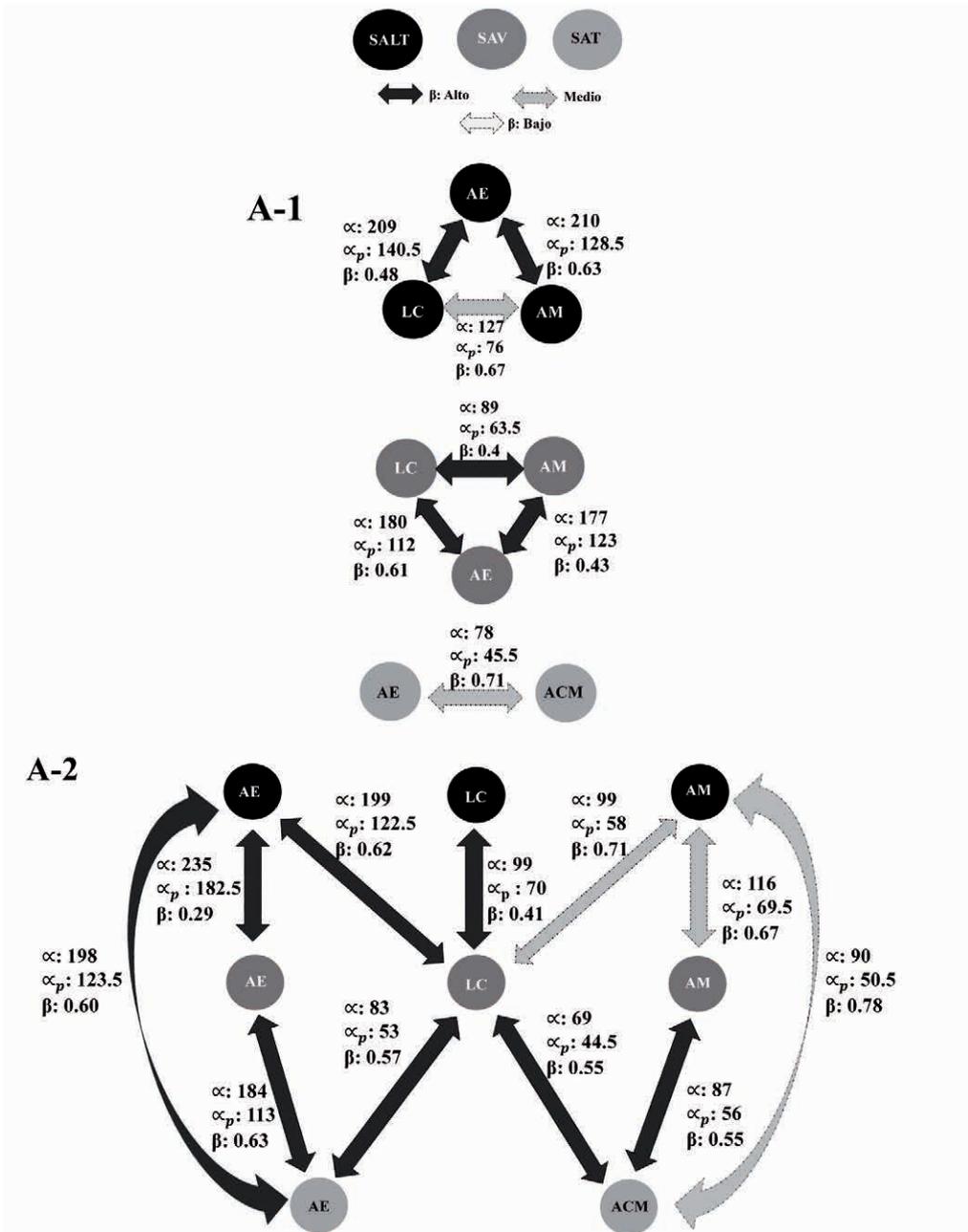
Categorías	General						S-SALT						S-SAV						S-SAT																		
	S	%	AE	%	LC	%	AM	%	AE	%	LC	%	AM	%	AE	%	LC	%	AM	%	AE	%	LC	%	AM	%	AE	%	LC	%	AM	%					
Taxones	23	100	22	95.7	15	65.2	12	52.2	20	87.0	11	47.8	12	52.2	15	65.2	10	43.5																			
Familia	58	100	49	84.5	29	50	26	44.8	46	79.3	21	36.2	24	41.4	31	53.4	15	25.9																			
Género	168	100	139	82.7	65	38.6	47	27.9	124	73.8	42	25	55	32.7	46	27.4	28	16.6																			
Especie	262	100	193	73.7	88	33.6	64	24.4	172	65.6	51	19.5	77	29.4	54	20.6	37	14.1																			
Vulnerabilidad	Pr	12	4.6	10	3.8	6	2.3	2	0.8	9	3.4	2	0.8	4	1.5	2	0.8	5	1.9																		
	Am	4	1.5	4	1.5	1	0.4	1	0.4	2	0.8	0	0.0	1	0.4	1	0.4	1	0.4																		
	P	5	1.9	4	1.5	0	0.0	0	0.0	2	0.8	0	0.0	0	0.0	2	0.8	0	0.0																		
Hábitat	Terrestre	165	63.0	125	47.7	26	9.9	42	16.0	103	39.3	17	6.5	14	5.3	26	9.9	13	5.0																		
	Costera	44	16.8	37	14.1	25	9.5	11	4.2	25	9.5	6	2.3	14	5.3	15	5.7	5	1.9																		
	Marina	47	17.9	27	10.3	33	12.6	10	3.8	38	14.5	25	9.5	43	16.4	11	4.2	18	6.9																		
	Todos	6	2.3	4	1.5	4	1.5	1	0.4	6	2.3	4	1.5	6	2.3	3	1.1	2	0.8																		
Estacionalidad	R	103	38.4	91	34.0	34	12.7	16	6.0	70	26.1	20	7.5	21	7.8	37	13.8	16	6.0																		
	VI	93	34.7	61	22.8	34	12.7	28	10.4	64	23.8	25	9.3	37	13.8	14	5.2	16	6.0																		
	Tr	68	25.4	38	14.2	18	6.7	20	7.5	34	12.7	6	2.2	18	6.7	3	1.1	4	1.5																		
	RV	4	1.5	3	1.1	1	0.4	0	0.0	4	1.5	1	0.4	1	0.4	0	0.0	1	0.4																		



**Figura 3.** *Sternula antillarum* es un ave marina residente de verano considerada bajo la categoría de protección especial en la NOM-059-SEMATNAT-2010. En el CASGM se le ha observado A) buscando de alimento para cortejar y formar parejas tal y como ocurre en B-1) línea costera de Tuxpan y b) el arrecife Santiaguillo en el SAV (fotos A, B-1 y B-2 tomadas por Argüelles-Jiménez); así mismo ha sido reportada C-1 y 2) anidando en la laguna de Tamiahua, Veracruz por García-Domínguez (2009).



**Figura 4.** Valores porcentuales de los componentes alimenticios para las aves registradas en los ambientes de los tres sistemas arrecifales del CASGM. I: invertebrados, V: pequeños vertebrados, F: frutas, P: peces, S: semillas, N: néctar y sabia, A: vegetación acuática, O: omnívora, C: carroña; AE: ambiente estuarino, LC: línea costera, AM: ambiente marino, AMC: ambiente costero marino.



**Figura 5.** Grado de conectividad y reemplazamiento de las aves encontrado en este estudio dentro (A-1) y entre (A-2) los ambientes que componen a los tres sistemas arrecifales del CASGM. SALT: Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, SAV: Sistema Arrecifal Veracruzano y SAT: Sistema Arrecifal Los Tuxtlas; AE: ambiente estuarino, LC: línea costera, AM: ambiente marino, ACM: ambiente costero-marino, α: diversidad alfa, α<sub>p</sub>: diversidad alfa promedio y β: diversidad beta o de reemplazamiento. En la Figura A-1, las ligaduras de doble flecha indican que el análisis beta diversidad se realizó entre pares de ambientes. Para el AE la información de la beta diversidad se presenta de lado izquierdo, para el AM se presenta de lado derecho, mientras que para la LC la información de lado derecho está ligada al AM y la del lado izquierdo con el AE.

AE con LC y AM, pero media entre LC y AM. Para el SAT la conectividad que se pudo analizar, con base en la información disponible fue exclusivamente entre AE y ACM, y esta resultó ser de valor intermedio. Al comparar la conectividad entre los ambientes (Fig. 5 A-2), observamos que el AE y la LC destacan como centros de alta conectividad a lo largo del CASGM, mientras que, la importancia en los valores de conectividad para el AM fluctúa en los sistemas arrecifales del sur con los del norte. De esta manera, entre en el ACM del SAT y el AM del SAV la conectividad es alta, pero del ACM del SAT al AM del SALT se tiene un nivel intermedio, mismo nivel que se presenta entre el AM del SALT con la LC del SAV.

#### ANÁLISIS POBLACIONAL

De la información recopilada y analizada solo se tienen valores de densidad (ind/km<sup>2</sup>) para 129 especies de las 262 enlistadas en el Anexo 1. La información abarca parte de los AE y LC del SALT y el AM del SAV. A continuación se

hace un análisis general de las especies cuya densidad es mayor a 0.1 ind/km<sup>2</sup>, ya que éstas abarcan entre el 85 al 99 % de la densidad total acumulada (tabla 4).

De manera general se observa que las especies de mayor densidad en el AE tienen bajos valores en el AM, y viceversa. Por otro lado, la LC al ser un ambiente de transición comparte especies con valores importantes de densidad tanto para el AE (*Eudocimus albus*, *Quiscalus mexicanus*) como para el AM (*Pelecanus occidentalis*, *Leucophaeus atricilla*, *Thalasseus maximus*) (tabla 4). Las especies con los valores más altos de densidad en el AE del SALT y el AM del SAV no han sido registradas numéricamente en el resto de los ambientes. En este sentido en el AE del SALT destacan *Anas platyrhynchos diazi*, *Eupsittula nana* y *Mycteria americana* con valores de densidad que oscilan entre 2.16 a 1.07 ind/km<sup>2</sup> mientras que en el AM sobresale *Chlidonias niger* (5.4 ind/km<sup>2</sup>) con el valor más alto de densidad en el SAV dentro del CASGM (tabla 4).

## DISCUSIÓN

#### ANÁLISIS COMUNITARIO

El CASGM contiene el 36.5 % de las 717 especies registradas para el estado de Veracruz (Gallardo-del Ángel y Aguilar, 2011) y el 66.3% de las 395 especies reportadas para el golfo de México (Gallardo *et al.*, 2009). Al cotejar el listado del Anexo 1 con la información publicada de manera formal para los ambientes y sistemas que componen al CASGM (Harrison, 1983; CONABIO, 2002; Montejo y McAndrews, 2006, Velarde *et al.*, 2007; 2014; Gallardo *et al.*, 2009; Gallardo-del Ángel y Aguilar, 2011; Serrano *et al.*, 2013;

Argüelles *et al.*, 2014a,b,c; Argüelles *et al.*, 2015; 2017; Velarde *et al.*, 2015; Naturalista, 2017) y páginas web especializadas (Berlanga *et al.*, 2008; *BirdLife International*, 2017; Cornell-*The birds of North America*, 2017), se detectaron siete nuevos registros para los ambientes costeros, de los cuales cuatro son para el norte de Veracruz (*Trogon melanocephalus*, *Thamnophilus doliatus*, *Sittasomus griseicapillus*, y *Cardinalis sinuatus*) y tres para el golfo de México (*Streptoprocne semicollaris*, *Stercorarius pomarinus* y *Eudocimus ruber*) (ver Anexo 2). A escala local en el SALT, 42

**Tabla 4.** Especies de aves cuya densidad acumulada es mayor al 85 % en el CASGM negritas. SALT: Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan, SAV: Sistema Arrecifal Veracruzano; AE: ambiente estuarino, LC: línea costera y AM: ambiente marino; especies bajo las categorías de Am: amenazada y Pr: protección especial.

Especie	SALT	SAV	
	AE	LC	AM
<i>Chlidonias niger</i>	--	--	<b>5.4</b>
<i>Thalasseus acuflavidus</i>	--	0.03	<b>2.6</b>
<i>Pelecanus occidentalis</i>	0.006	<b>0.15</b>	<b>2.5</b>
<i>Leucophaeus atricilla</i>	0.02	<b>0.4</b>	<b>2.4</b>
<i>Thalasseus maximus</i>	8.3E-05	0.3	<b>0.8</b>
<i>Larus smithsonianus</i>	--	0.01	<b>0.4</b>
<i>Fregata magnificens</i>	0.0002	--	<b>0.28</b>
<i>Sterna forsteri</i>	--	--	<b>0.2</b>
<i>Sterna hirundo</i>	6.9E-05	6.9E-05	<b>0.2</b>
<i>Tringa semipalmata</i>	0.001	<b>0.2</b>	--
<i>Calidris alba</i>	0.002	<b>0.2</b>	--
<i>Eudocimus albus</i>	<b>0.56</b>	<b>0.15</b>	--
<i>Cathartes aura</i>	0.004	<b>0.1</b>	--
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	0.03	<b>0.1</b>	--
<i>Quiscalus mexicanus</i>	<b>0.1</b>	<b>0.1</b>	--
<i>Anas platyrhynchos diazi</i> <b>Am</b>	<b>2.16</b>	--	--
<i>Eupsittula nana</i> <b>Pr</b>	<b>1.15</b>	--	--
<i>Mycteria americana</i> <b>Pr</b>	<b>1.07</b>	--	--
<i>Nyctanassa violacea</i>	<b>0.76</b>	--	--
<i>Bubulcus ibis</i>	<b>0.50</b>	0.001	--
<i>Stelgidopteryx serripennis</i>	<b>0.38</b>	--	--
<i>Caracara cheriway</i>	<b>0.37</b>	0.002	--
<i>Falco femoralis</i> <b>A</b>	<b>0.10</b>	0.0003	--

especies son nuevos registros para el AE y 24 para la LC, mientras que para la LC del SAV se obtuvo igual número de nuevos registros (24 spp.). En el SAT no hay nuevos registros ya que las especies registradas ya han sido referidas dentro de la reserva de Los Tuxtlas, la cual es un área con aproximadamente 561 especies (CONABIO, 2002), sin embargo, es necesario abordar sus ambientes costeros y

marinos para tener un mejor panorama de su diversidad.

Las aves del golfo de México (GM) comprenden una gran variedad de formas que, en conjunto, ostentan un espectro amplio de nichos ecológicos, lo cual se ve reflejado en la gran diversidad de órdenes y familias detectadas en el CASGM. La importancia de las familias (por su número de especies), encontrada

en este trabajo presenta bastante coincidencia con la información reportada para el golfo de México por Gallardo *et al.* (2009) donde destacan principalmente las familias Anatidae (46 spp), Laridae (41 spp), Scolopacidae (38 spp), Parulidae (36 spp), Ardeidae (17 spp), Rallidae (16 spp) y Tyrannidae (17 spp), que representan en conjunto el 53 % de todas las especies.

A nivel de ambientes, y como es de esperarse, la importancia de órdenes y familias de aves terrestres destacan sobre las acuáticas y marinas en ambientes estuarinos e insulares, y ello ha sido referido por Velarde *et al.* (2007) y Argüelles *et al.* (2015; 2017). Esto se debe a que los ambientes costeros (*e.g.* ríos, lagunas, línea costera, islas, arrecifes) funcionan como un gran corredor migratorio por toda Norteamérica; esto se corrobora con el mayor número y proporción de aves terrestres migratorias registradas a lo largo del CASGM.

Argüelles *et al.* (2015; 2017) sugirió un patrón donde la diversidad del SALT es mayor a la del SAV (Velarde *et al.*, 2007; 2015); es necesario recalcar que dicho patrón puede ser el resultado de diferencias en el esfuerzo de muestreo, métodos, temporalidad analizada, vacíos de información (falta de muestreos o estudios), entre otras. Suponiendo que las diferencias encontradas hasta ahora en este trabajo en la riqueza específica se mantengan al hacer mayores estudios de estas áreas, entonces podemos considerar que hay dos factores principales que pueden intervenir en ello: 1) El mayor número de ambientes estuarinos existentes en el SALT, que brindan sitios de refugio y alimentación a las aves migratorias, y 2) la posición geográfica del CASGM en las rutas migratorias del Mississippi y la Central (Arizmendi y Berlanga, 2014).

Por otro lado, observamos la tendencia contraria en la LC y AM donde incrementa la diversidad de aves costeras y marinas debido a que en dichos ambientes estas especies tienen mayor grado de adecuación y disponibilidad de alimentos (invertebrados marinos y peces) que no son aprovechados por las aves terrestres (figura 4).

La disponibilidad del alimento ha sido considerada una limitante en la distribución de aves costeras y marinas, por ejemplo, Argüelles *et al.* (2017) argumenta que, a diferencia de la línea costera, en los ambientes estuarinos con canales estrechos se presentan una mayor diversidad de aves costeras (*e.g.* garzas) que marinas, quienes encuentran menor cantidad de alimento en dicha zona. Asimismo, los scolopácidos y charadridos son más diversos en la línea costera y ambientes estuarinos que en el ambiente marino e insular, debido a que el tipo de sustrato donde buscan sus alimentos (barro, arena, costa rocosa) es reducido o inexistente (Argüelles *et al.*, 2015), por lo cual los registros de estos grupos realizados en el ambiente marino corresponden a individuos que se encuentran desplazándose de un sitio costero a otro al interior de la zona marina.

De las aves que se distribuyen en todos los ambientes solo *Megasceryle alcyon* tiene preferencia por los peces, el resto de las especies son aves de presa que consumen fauna terrestre (*F. sparverius*, *F. columbarius*), aves terrestres y marinas (*F. peregrinus*) y carroñeros (*Coragyps atratus*, *Cathartes aura*). De manera general, los cuatro tipos más comunes de dieta (invertebrados, pequeños vertebrados, frutas y peces) (figura 4) corroboran su importancia en la estructura trófica de las aves del CASGM, tal y como lo han sugerido Velarde *et al.* (2007) y Argüelles *et al.* (2015); sin

embargo, esta información es solo la base de estudios que deberían enfocarse en determinar la identidad de estos grupos generalizados y el porcentaje en el cual son consumidos, lo cual dará pie a la comprensión del flujo de energía dentro y entre los ambientes donde las aves juegan un papel fundamental.

El análisis de la beta diversidad realizado con los datos actualmente disponibles denota que entre los tres sistemas arrecifales y sus ambientes se mantiene una alta conectividad, con excepción del AM del SALT, que presenta en todos casos baja conectividad tanto con el AM y LC del SAV, como con el ACM del SAT. Esta discrepancia seguramente se debe a la falta de información para el ambiente marino del SALT y del SAT, que no permite evaluar la conectividad de la forma en que se puede hacer en ambientes donde se cuenta con información más completa y comparable. Asimismo, el mayor número de especies terrestres migratorias, que al pasar por la línea costera hacia los ambientes estuarinos provoca que decrezcan los valores de  $\beta$ , en cambio el AM es usado como área de migración preferencial por las aves marinas y costeras, tal y como lo sugiere Arguelles *et al.* (2015; 2017).

A pesar de que el conocimiento en la diversidad de las aves del CASGM es incompleto (ya que es necesario llevar a cabo monitoreos con metodologías estandarizadas, para hacer comparables los resultados), será importante profundizar en el conocimiento de las aves del SAT, así como en las aves marinas del SALT y las estuarinas y costeras del SAV. Sin embargo, y a pesar de los huecos de información y metodología detectados, este análisis preliminar de su diversidad alfa y beta permite reconocer que los tres sistemas arrecifales y sus ambientes se encuentran interconectados

y da pie para comenzar a entender la dinámica de los flujos de energía (*i.e.* a mayor interconexión mayor flujo de energía). Asimismo, al reconocer que existen diversos niveles de interconexión, zonas de anidación (*e.g.* isla del Terrón, la laguna de Tampamachoco, la laguna de Tamiahua e islas del SAV), y un alto número de especies (21) categorizadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2015) con distinto grado de vulnerabilidad (protección especial, en peligro de extinción y amenazadas), que utilizan los ambientes del CASGM para alimentarse y reproducirse (*e.g.* *Sternula antillarum*), se da la pauta para crear un marco legal que proteja y regule la explotación de los recursos costeros y marinos de este importante corredor.

Por último, a pesar de que se ha observado que existe un efecto antrópico sobre las aves en los ambientes analizados del CASGM (*e.g.* por la ampliación del puerto de Veracruz, basura, desecho de aguas residuales en ambientes ribereños y costeros, ampliación de la mancha urbana), el presente estudio no abordó el tema de efecto antropogénico debido a que la literatura de este tema es general al golfo de México, y no específica sobre los sitios de estudio. Es por ello que, es necesario realizar estudios que profundicen dicha temática y determinen el impacto que generan nuestras acciones a nivel más local, regional y específico.

#### ANÁLISIS POBLACIONAL

Hasta el momento el conocimiento más amplio de las densidades de las aves proviene de publicaciones referentes al AE y datos de tomados en campo de la LC del SALT, mientras que del AM del SAV solo se ha publicado la información de las especies numéricamen-

te dominantes (ver Anexo 1, tabla 4), por lo que es necesario abarcar y describir todas las poblaciones que en su conjunto representan un papel primordial, y que en algunos casos se encuentran normados, tal y como sucede con *Sternula antillarum*, *Anas platyrhynchos diazi*, *Eupsitula nana*, *Mycteria americana* y *Falco femoralis* (DOF, 2015).

La información disponible de las especies que representan entre el 85 y 99 % de las densidades totales, vislumbra que sus poblaciones están ligadas al tipo de hábitat. De las especies listadas en el tabla 4, destacan las aves marinas y costeras especialmente en el AM del SAV donde se presentan los valores de densidad más altos. Velarde *et al.* (2015) describe que la densidad de las principales especies del AM del SAV varían con respecto a la temporada climática (nortes, lluvias y secas) y ello se debe a patrones migratorios (*e.g. Pelecanus occidentalis*, *Chlidonias niger*) y de reproducción (*e.g. Leucophaeus atricilla*, *Thalasseus maximus*).

Por otra parte, se observa que las especies de mayor densidad en un ambiente no lo son en otros, y ello se debe a sus adaptaciones y preferencias alimentarias, por ejemplo, *Anas platyrhynchos diazi* en el AE se alimenta de invertebrados, semillas y pequeños vertebrados que difícilmente encontraría en la línea costera o el ambiente marino. Dentro de los AE del SALT, los valores más altos de densidad para *A. platyrhynchos diazi* se presentaron en el estero de Tumulco (6.4 ind/km<sup>2</sup>) (Serrano *et al.*, 2013).

La línea costera es un caso especial, ya que al ser un ecotono entre el ambiente marino y estuarino se da la pauta para que se presenten especies dominantes compartidas, tal y como sucede con *P. occidentalis*, *L. atricilla* y *T. maximus* con el ambiente marino, o con *Eudocimus albus* y *Quiscalus mexicanus* con el ambiente estuarino. Con excepción de *E. albus* que usa la LC como corredor migratorio, el resto de las especies importantes de la LC hacen uso de ella para alimentarse o descansar.

## CONSIDERACIONES FINALES

El presente documento tiene como finalidad el abordar los aportes y vacíos en el estudio de las aves en el CASGM para poder brindar un panorama de lo que se conoce y lo que falta por hacer. En este sentido es necesario incrementar el esfuerzo de muestreo en ambientes pobremente estudiados como la LC del SAV o el AM del SALT donde no se tienen datos de abundancia y el efecto antrópico que se presenta en el CASGM el cual no fue abordado en el presente estudio y que se recomienda sea profundizado con urgencia.

En general, la abundancia y la densidad han sido parámetros poco usados en estudios comunitarios del CASGM. Asimismo, hace falta profundizar en los aspectos reproductivos y demográficos para comprender las dinámicas poblacionales y de distribución de estas aves. El análisis preliminar realizado en el presente estudio, a pesar de tener diferencias en el esfuerzo de muestreo en los ambientes de los tres sistemas arrecifales que componen al CASGM, evidencia la enorme diversidad en la avifauna asociada a los ambientes marinos y

costeros de Veracruz, la cual, en general, tienen un alto nivel de conectividad.

Con el desarrollo de nuevas investigaciones se irán subsanando los vacíos de información y se generarán nuevas preguntas e incógnitas aun no planteadas, del papel que desempeñan las aves en el CASGM y los efectos adversos o positivos que generan las actividades huma-

nas sobre las aves. Ejemplos de esto último podrían ser la presencia de parásitos y enfermedades por descargas de aguas residuales en ambientes donde descansan y se alimentan las aves, o el efecto de la ampliación de puertos sobre áreas de descanso y alimentación de las aves, y la incidencia de muertes de aves por la actividad pesquera.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el financiamiento otorgado al proyecto “Bases para el Análisis y Síntesis de los Sistemas Costeros Veracruzanos” por la Red para el Análisis y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana del Golfo de México (RASZCOV). A Manuel Grosselet, Eduardo Mena Reynoso y Claudia Macías Caballero por su ayuda en la identificación de algunas especies. Los datos de aves marinas y costeras

del Sistema Arrecifal Veracruzano se generaron con el apoyo del CONACYT al proyecto P-45468 Q denominado “Análisis de la comunidad de aves marinas y costeras del Estado de Veracruz” otorgado entre 2004 y 2007 a EV. Agradecemos al revisor del manuscrito original por sus atinados comentarios y sugerencias.

## LITERATURA CITADA

- AOU, 2017. *American Ornithological Society a checklist of north and middle American birds*. <http://checklist.aou.org/taxa/>
- Argüelles-Jiménez, J., F. de la Cruz-Vicencio, C. González-Gándara, C. Domínguez-Barradas & T.M. Rojas-Terán, 2014a. *Buteogallus anthracinus* (Deppe 1830). pp. 148-149. En: F. Hernández-Baz & D.U. Rodríguez (eds.). *El libro rojo de la fauna del estado de Veracruz*. Gobierno del estado de Veracruz, Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 220 pp.
- Argüelles-Jiménez, J., F. de la Cruz-Vicencio, C. González-Gándara, C. Domínguez-Barradas & R. Antonio, 2014c. *Aramus guarana* (Linnaeus 1766). p. 167-169. En: F. Hernández-Baz & D.U. Rodríguez (eds.). *El libro rojo de la fauna del estado de Veracruz*. Gobierno del estado de Veracruz, Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente, Universidad Veracruzana, Veracruz, México. 220 pp.
- Argüelles-Jiménez, J., S. Macías-Hernández, C. González-Gándara, V. de la Cruz-Francisco, C. Domínguez-Barradas & J. Cipriano-Anastasio, 2015. Ornitofauna de los arrecifes del norte de Veracruz, México. p. 351-366. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Sa-

- las-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 336 pp.
- Argüelles-Jiménez, J., S. Macías-Hernández, M.A. Rojas-Terán, C. González-Gándara, V. de la Cruz-Francisco & C. Domínguez-Barradas, 2017. Aves ribereñas de los ecosistemas costeros de Tuxpan, Veracruz, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(10):147-159.
- Arizmendi, M.C. & H. Berlanga, 2014. *Colibríes de México y Norteamérica*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 158 pp.
- Arizmendi, M.C., H. Berlanga, L. Márquez-Valdemar, L. Navarrijo & F. Ornelas, 1990. *Avifauna de la región de Chamela, Jalisco*. Cuadernos del Instituto de Biología No. 4, Universidad Nacional Autónoma de México. 62 pp.
- AIDA, 2015. *Guía de buenas prácticas regulación para la protección de arrecifes de coral*. [http://www.aida-americas.org/sites/default/files/featured\\_pubs/guia\\_de\\_buenas\\_practicas\\_de\\_regulacion\\_para\\_la\\_proteccion\\_de\\_arrecifes\\_de\\_coral\\_0.pdf](http://www.aida-americas.org/sites/default/files/featured_pubs/guia_de_buenas_practicas_de_regulacion_para_la_proteccion_de_arrecifes_de_coral_0.pdf)
- Berlanga, H, V. Rodríguez-Contreras, A. Oliveras de Ita, M. Escobar, L. Rodríguez, J. Vieyra & V. Vargas, 2008. *Red de conocimientos sobre las aves de México (AVESMX)*. <http://avesmx.conabio.gob.mx/index.html>
- BirdLife International, 2017. *Partnership for nature and people*. <http://www.birdlife.org/>
- Carmona, D.G., M.J.E. Morales & L.E. Rodríguez, 2004. Plan de manejo para el manglar de Sontecomapan, Catemaco, Veracruz, México: una estrategia para la conservación de sus recursos naturales. *Madera y Bosques*, No. Esp. 2:5-23.
- Cipriano-Anastasio, J., 2014. Uso del hábitat por aves en un paisaje fragmentado en Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz. *Tesis Maestría, Universidad Veracruzana, Tuxpan*, Veracruz, México. 106 pp.
- CONABIO, 2002. Áreas de importancia para la conservación de aves (AICAS): Los Tuxtlas. <http://conabioweb.conabio.gob.mx/aicas/doctos/aicasmapa.html>
- Cornell-The birds of North America, 2017. *Species*. <http://bna.birds.cornell.edu/bna/species>
- De Labra, M.A., 2010. Hábitat, abundancia y perspectivas de conservación de psittacidos en la reserva de Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Ornitología Neotropical*, 21:599-610.
- DOF, 2015. *Proyecto de modificación al anexo normativo III, lista de especies en riesgo de la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo*. Diario Oficial de la Federación, 21 de diciembre de 2015.
- Efe, M.A., E.S. Tavares, A.J. Baker & S.L. Bonatto, 2009. Multigene phylogeny and DNA barcoding indicate that the Cabot's Tern complex (*Thalasseus sandvicensis*, Laridae, Sternini) comprises two species. *Molecular Phylogenetic Evolution*, 52:263-267.
- Ehrlich, P.R., D.S. Dobkin & D. Wheye, 1988. *The birder's handbook: a field guide to the natural history of North American birds*. Simon & Schuster, New York, USA. 785 pp.
- Gallardo, J.C., 2003. Estudio preliminar de la comunidad de aves del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano y zonas adyacentes, Veracruz, México. *Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana*, Xalapa. México. 57 pp.
- Gallardo, J.C., E. Velarde & V. Macías, 2009. Birds (Vertebrata: Aves) of the Gulf of Mexico. pp. 1321-1342. En: D. Felder, D. Camp & W. Tunnell (eds). *The Gulf of Mexico, Its origin, waters and marine life, Vol. III*. Texas A&M Univ. Press, USA. 446 pp.
- Gallardo, J.C. & R.S. Aguilar, 2011. Aves: diversidad distribución y conservación. pp: 559-578. En: A. Cruz (ed). *La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado*. Vol. II: Contexto ac-

- tual del estado y perspectivas de conservación de su biodiversidad. CONABIO, Gob. Veracruz, Universidad Veracruzana, INECOL A.C., México. 679 pp.
- García-Domínguez, J.A., 2009. Avifauna marina y acuática de la laguna de Tamiahua, Veracruz: aspectos ecológicos y perspectivas de conservación. *Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana*, Xalapa, Veracruz, México. 97 pp.
- Harrison, P., 1983. *Sea birds, an identification guide*. Houghton Mifflin Co, USA. 448 pp.
- Harrison, P., 1997. *Sea birds of the World: A photographic guide*. Princeton Univ. Press. New Jersey, USA. 317 pp.
- Hayman, P., J. Marchant & T. Prater, 1986. *Shore birds: an identification guide*. Houghton Mifflin Company, USA. 851 pp.
- Hernández-Hernández, E.M., 2009. Aspectos ecológicos de la avifauna en dos zonas del manglar de Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz. *Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana*, Tuxpan, Veracruz, México. 62 pp.
- Hernández-Hernández, M., 2012. Aspectos ecológicos de *Geothlypis flaveolata* (Ridgway, 1986) especie endémica del noreste de México. *Tesis Maestría, Universidad Veracruzana*, Tuxpan, Veracruz, México. 86 pp.
- Herrera-Alsina, L.S., 2009. Distribución y abundancia de aves marinas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, con relación a variables abióticas. *Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana*, Xalapa, Veracruz, México. 69 pp.
- Howell, S.N. & S. Webb, 2004. *A guide to the birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press, USA. 851 pp.
- Martínez-Villasis, A., 2010. Estudio de la avifauna de Arroyo Moreno, Ver. y áreas adyacentes. *Tesis Licenciatura, ITBOCA*. Boca del Río, Veracruz. México. 71 pp.
- Mendo-Pascual, W.L., 2012. Aspectos ecológicos de la avifauna en cinco kilómetros de la playa de Tuxpan, Veracruz durante la época de nortes. *Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana*, Tuxpan, Veracruz, México. 90 pp.
- Mendoza-Mar, K., 2014. Riqueza, abundancia y grupos funcionales de alimentación de la avifauna asociada a la línea de costa de Tuxpan, Veracruz. *Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana*, Tuxpan, Veracruz, México. 51 pp.
- Montejo, D.J. & A. McAndrews, 2006. *Listado de las aves de Veracruz, México*. Boletín de divulgación No. 1. Endémicos Insulares Asociación Civil, Veracruz, México. 26 pp.
- Moreno, C.E. & G. Halfter, 2001. Spatial and temporal analysis of  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  diversities of bats in a fragmented landscape. *Biodiversity & Conservation*, 10:367-382.
- Naturalista, 2017. *Aves de la reserva de los Tuxtlas*. <http://www.naturalista.mx>
- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez & J. Martos, 2013. The reef corridor of the Southwest Gulf Mexico: challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22-32.
- Ortiz-Pulido, R., G. Gómez de Silva, F. González-García & A. Álvarez, 1995. Avifauna del Centro de Investigaciones Costeras "La Mancha", Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 65:87-118.
- Peterson, R.T. & E.L. Chalif, 2008. *Aves de México: Guía de campo identificación de todas las especies encontradas en México, Guatemala, Belice y el Salvador*. Editorial Diana, México. 459 pp.
- Petracci, P.F., M. Cenevari & E. Bremer, 2005. *Guía de aves playeras y marinas migratorias del sur de América del Sur*. Fundación Vida Silvestre Argentina-US Fish & Wildlife Service, Programa de escuelas hermanas de aves Playeras, Argentina. 44 pp.
- Ramos-Ramos, M., 2010. Caracterización del hábitat y abundancia de nueve aves sujetas a protección especial en el manglar de Tumulco, Tuxpan, Veracruz, México. *Tesis Maestría, Universidad Veracruzana*, Tuxpan, Veracruz, México. 54 pp.
- Serrano, A., L. Vázquez-Castán, M. Ramos-Ramos, A. de Jesús Basáñez-Muñoz & C. Naval

- Ávila, 2013. Diversidad y abundancia de aves en un humedal del norte de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 29(3):473-485.
- Velarde, E., A. Martínez & J.C. Gallardo, 2007. Las aves del Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 27-50. En: Granados-Barba, A., L. Abarca-Arenas & J.M. Vargas-Hernández (eds). *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, México. 304 pp.
- Velarde, E., L. Iturriaga, C. Meiners, L. Jiménez, H. Perales, R. Sanay, M. Ángel, H. Cabrera-Valenzuela & C. Anaya-Cruz, 2014. Red-billed tropic bird *Phaethon aethereus* occurrence patterns in the state of Veracruz, Gulf of Mexico: possible causes and implications. *Marine Ornithology*, 42:119-124.
- Velarde, E., R. Sanay-González, H. Perales-Valdivia, M. Rojas-Espinoza, F. Ruz-Rosado & O. Gutiérrez-Benítez, 2015. Distribución y abundancia de aves marinas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 231-248. En: Granados-Barba, A., L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 pp.
- White, A., P. Alino, A. Cros, N. Fatan, A. Green, S. Teoh, L. Laroya, N. Peterson, S. Tan, S. Tighe, R. Venegas-Li, A. Walton & W. Wen, 2014. Marine protected areas in the coral triangle: progress, issues, and options. *Coastal Management*, 42(2):87-106.

## ANEXOS

**Anexo I.** Listado de aves registradas en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM). Est: estacionalidad, R: residente, VI: visitante invernal, Tr: transeúnte, RV: residente de verano; Co: costera-acuática, Ma: marina, Te; terrestre; Items: componentes alimenticios, P: peces, A: vegetación acuática, I: invertebrados, V: pequeños vertebrados, F: frutas, S: semillas, N: néctar y sabia, C: carroña, O: omnívora. AE: ambiente estuarino, DAE: densidad de aves en el ambiente estuarino, LC, línea costera, DLC: densidad de aves en el ambiente costero, AM: ambiente marino, DAM: densidad en el ambiente marino, ACM: ambiente costero marino. **I**: nuevo registro local, \* nuevo registro para los ambientes costeros del norte de Veracruz, \*\* nuevo registro para los ambientes costeros del golfo de México.

Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
<b>Orden 1) Anseriformes</b>														
<b>Familia 1) Anatidae</b>														
1) <i>Dendrocygna autumnalis</i>	R	Co	A	1	0.002	I	0.0005	--	1	--	--	--	--	1
2) <i>Dendrocygna bicolor</i>	R	Ma,Co	I,A,S	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
3) <i>Cairina moschata</i> P	R	Co	O	1	--	--	--	--	1	--	--	--	--	1
4) <i>Spatula discors</i>	VI	Ma,Co	I,A,S	1	0.002	I	0.001	1	1	--	1	--	--	--
5) <i>Mareca strepera</i>	VI	Co	A	I	8.3E-05	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6) <i>Mareca americana</i>	VI	Ma,Co	I,A,S	--	--	1	0.001	--	1	--	1	--	--	--
7) <i>Anas platyrhynchos diazi</i> Am	Tr	Co	I,S,V	1	2.16	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8) <i>Anas acuta</i>	VI	Co	I,P	--	--	I	0.0002	--	--	--	--	--	--	--
9) <i>Aythya americana</i>	VI	Co	P,I	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
10) <i>Aythya affinis</i>	VI	Co	O	1	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
11) <i>Mergus serrator</i>	Tr	Ma	V,I	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
12) <i>Oxyura jamaicensis</i>	VI	Co	S,P,I	1	--	I	1.2E-05	--	--	--	--	--	--	--
<b>Orden 2) Galliformes</b>														
<b>Familia 2) Cracidae</b>														
13) <i>Ortalis vetula</i>	R	Te	F,S,I	1	0.003	1	--	1	1	--	--	--	1	--
<b>Familia 3) Phasianidae</b>														
14) <i>Gallus gallus</i>	R	Te	I,F,S	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
<b>Orden 3) Podicipediformes</b>														
<b>Familia 4) Podicipedidae</b>														
15) <i>Tachybaptus dominicus</i> Pr	R	Co	V	I	8.3E-05	--	--	--	1	--	--	--	--	--
<b>Orden 4) Columbiformes</b>														
<b>Familia 5) Columbidae</b>														
16) <i>Columba livia</i>	I/R	Te	S,I	1	--	1	0.0001	--	--	1	--	--	1	--
17) <i>Patagioenas flavirostris</i>	R	Te	F	1	0.04	1	0.002	--	1	--	--	--	1	--
18) <i>Streptopelia decaocto</i>	I/R	Te	S	1	8.3E-05	1	0.0001	--	--	1	--	--	1	--
19) <i>Columbina inca</i>	R	Te	S	1	0.003	1	0.0002	--	1	--	--	--	--	1
20) <i>Columbina passerina</i>	R	Te	S	1	0.0004	--	--	1	1	--	--	--	--	--
21) <i>Columbina talpacoti</i>	R	Te	S	I	0.0004	--	--	--	1	--	--	--	--	--
22) <i>Leptotila verreauxi</i>	R	Te	F	I	0.001	--	--	--	1	--	--	--	--	--
23) <i>Zenaidura macroura</i>	R	Te	F,S	1	0.0003	1	0.00123	--	1	1	--	--	1	--

Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
24) <i>Zenaida macroura</i>	VI	Te	F,S	--	--	--	--	--	I	--	--	--	--	--
<b>Orden 5) Cuculiformes</b>														
<b>Familia 6) Cuculidae</b>														
25) <i>Piaya cayana</i>	R	Te	I	I	0.0003	--	--	--	I	--	--	--	I	--
26) <i>Coccyzus americanus</i>	Tr	Te	I,F	1	0.0003	--	--	--	I	--	--	--	--	--
27) <i>Coccyzus minor</i>	R	Te	I,V,F	I	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
28) <i>Coccyzus erythrophthalmus</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	I	--	--	--	--	--	--
29) <i>Crotophaga sulcirostris</i>	R	Te	I	I	0.002	--	--	--	I	--	--	--	I	--
<b>Orden 6) Caprimulgiformes</b>														
<b>Familia 7) Caprimulgidae</b>														
30) <i>Chordeiles minor</i>	Tr	Te	I	1	0.0003	--	--	--	I	--	I	--	--	--
31) <i>Nyctidromus albicollis</i>	R	Te	I	1	0.0002	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Orden 7) Apodiformes</b>														
<b>Familia 8) Apodidae</b>														
32) <i>Streptoprocne semicollaris**</i>	Tr	Te	I	1	--	1	4.6E-05	--	--	--	--	--	--	--
<b>Familia 9) Trochilidae</b>														
33) <i>Archilobus colubris</i>	Tr	Te	N,I	I	--	--	--	I	I	--	--	--	--	--
34) <i>Archilobus alexandri</i>	Tr	Te	N,I	--	--	--	--	I	--	--	--	--	--	--
35) <i>Amazilia yucatanensis</i>	R	Te	N,I	I	0.001	--	--	--	I	I	--	--	--	--
36) <i>Hylocharis leucotis</i>	Tr	Te	N,I	I	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Orden 8) Gruiformes</b>														
<b>Familia 10) Rallidae</b>														
37) <i>Porzana carolina</i>	VI	Co	I,V	I	0	--	--	--	I	--	--	--	--	--
38) <i>Fulica americana</i>	VI	Co	S,V,I	I	0.001	1	0.0003	I	I	--	--	--	I	--
<b>Familia 11) Aramididae</b>														
39) <i>Aramus guarana Am</i>	Tr/R	Co	I	I	--	--	--	--	I	--	--	--	I	--
<b>Orden 9) Charadriiformes</b>														
<b>Familia 12) Recurvirostridae</b>														
40) <i>Himantopus mexicanus</i>	R	Co	I	I	0.0002	I	0.001	I	I	--	I	--	I	--
41) <i>Recurvirostra americana</i>	VI	Co	I	I	--	I	0.0002	--	--	--	--	--	--	--
<b>Familia 13) Charadriidae</b>														
42) <i>Pluvialis squatarola</i>	VI	Ma,Co	I	--	--	I	0.03	--	I	--	I	--	--	--
43) <i>Pluvialis dominica</i>	Tr	Co	I	--	--	I	2.3E-05	--	--	--	--	--	--	--
44) <i>Charadrius nivosus</i>	VI	Ma	I	--	--	1	2.3E-05	--	I	--	--	--	--	--
45) <i>Charadrius wilsonia</i>	VI	Ma,Co	I	--	--	I	9.3E-05	--	I	I	I	--	--	--
46) <i>Charadrius semipalmatus</i>	VI	Ma,Co	I	I	--	I	0.003	--	I	I	I	--	--	--
47) <i>Charadrius vociferus</i>	VI	Co	I	--	--	1	0.01	--	--	--	--	--	--	--
<b>Familia 14) Jacanidae</b>														
48) <i>Jacana spinosa</i>	R	Co	I	I	0.0003	--	--	--	I	--	--	--	I	--

Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
<b>Familia 15) Scolopacidae</b>											--			
49) <i>Numenius phaeopus</i>	VI	Ma,Co	I	--	--	--	--	--	1	1	1	--	--	--
50) <i>Numenius americanus</i>	VI	Ma,Co	I	1	0.03	1	0.0002	--	1	1	1	--	--	--
51) <i>Arenaria interpres</i>	VI	Ma,Co	I	--	--	--	--	--	1	1	1	--	--	--
52) <i>Calidris canutus</i>	VI	Co	I	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
53) <i>Calidris alba</i>	VI	Ma,Co	I,V	1	0.002	1	0.2	--	1	1	1	--	--	1
54) <i>Calidris alpina</i>	VI	Co	I	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
55) <i>Calidris bairdii</i>	Tr	Co	I	--	--	1	--	--	--	--	--	--	--	--
56) <i>Calidris minutilla</i>	VI	Ma,Co	I	1	0.0003	1	0.002	--	1	1	1	--	--	--
57) <i>Calidris fuscicollis</i>	Tr	Ma,Co	I	--	--	1	4.6E-05	--	1	--	1	--	--	--
58) <i>Calidris melanotos</i>	Tr	Ma,Co	I	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1
59) <i>Calidris pusilla</i>	Tr	Ma,Co	I	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
60) <i>Calidris mauri</i>	VI	Co	I	1	--	1	0.0001	--	--	1	--	--	--	--
61) <i>Gallinago delicata</i>	VI	Ma,Co	I	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
62) <i>Actitis macularius</i>	VI	Ma,Co	I	1	0.1	1	0.002	1	1	1	1	--	1	1
63) <i>Tringa flavipes</i>	VI	Ma,Co	I	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	1
64) <i>Tringa semipalmata</i>	VI	Co	I,P	1	0.001	1	0.2	--	--	1	1	--	--	1
65) <i>Tringa melanoleuca</i>	VI	Ma,Co	I	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
<b>Familia 16) Stercorariidae</b>														
66) <i>Stercorarius pomarinus**</i>	Tr	Ma	P	-	--	1	2.3E-05	--	--	--	--	--	--	--
<b>Familia 17) Laridae</b>														
67) <i>Rissa tridactyla</i>	Tr	Ma	P,I	1	--	1	3.5E-05	--	--	--	--	--	--	--
68) <i>Chroicocephalus philadelphia</i>	Tr	Ma,Co	P,I	1	--	1	0.01	--	--	--	--	--	--	--
69) <i>Leucophaeus atricilla</i>	VI	Ma,Co	P,V,I	1	0.02	1	0.4	1	1	1	1	2.4	1	1
70) <i>Leucophaeus pipixcan</i>	Tr	Ma,Co	P,V,I	1	--	1	0.004	1	1	1	1	--	1	1
71) <i>Larus delawarensis</i>	VI	Ma,Co	V,I	1	--	1	0.01	--	1	1	1	--	--	1
72) <i>Larus californicus</i>	VI	Ma	P,I,C	--	--	1	0.0001	--	--	--	--	--	--	--
73) <i>Larus smithsonianus</i>	VI	Ma,Co	O	1	--	1	0.01	--	1	1	1	0.4	--	1
74) <i>Sterna antillarum Pr</i>	Tr	Ma,Co	P,I	1	--	1	0.001	--	1	1	1	--	--	--
75) <i>Gelochelidon nilotica</i>	Tr	Ma,Co	V,I	--	--	--	--	--	1	1	1	--	--	--
76) <i>Hydroprogne caspia</i>	VI	Ma,Co	P,I	1	--	1	0.002	--	1	1	1	0.01	--	1
77) <i>Chlidonias niger</i>	Tr	Ma	V,I	1	--	1	0	--	1	--	1	5.4	--	--
78) <i>Sterna hirundo</i>	RV	Ma,Co	P,I	1	--	1	6.9E-05	--	1	1	1	0.2	--	1
79) <i>Sterna forsteri</i>	VI	Ma	P,I	--	--	--	--	--	--	1	--	0.2	--	--
80) <i>Thalasseus maximus</i>	VI	Ma,Co	P,V,I	1	8.3E-05	1	0.3	1	1	1	1	0.8	1	1
81) <i>Thalasseus acuflavidus</i>	VI	Ma,Co	P,V,I	1	--	1	0.03	1	1	1	1	2.6	1	1
82) <i>Rynchops niger</i>	VI	Ma,Co	P,I	1	--	1	0.0001	--	1	1	1	--	--	1
<b>Orden 10) Phaethontiformes</b>														
<b>Familia 18) Phaethontidae</b>														
83) <i>Phaethon aethetus</i>	Tr	Ma,Co	P	1	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--

Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
<b>Orden 11)</b>														
<b>Procellariiformes</b>														
<b>Familia 19)</b>														
<b>Hydrobatidae</b>														
84) <i>Oceanites oceanicus</i>	Tr	Ma	I	--	--	--	--	--	--	--	I	--	--	--
<b>Orden 12) Ciconiiformes</b>														
<b>Familia 20) Ciconiidae</b>														
85) <i>Mycteria americana</i> Pr	VI	Co	I	I	1.07	I	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Orden 13) Suliformes</b>														
<b>Familia 21) Fregatidae</b>														
86) <i>Fregata magnificens</i>	VI	Ma	P,V	I	0.0002	I	0.02	I	I	I	I	0.28	I	I
<b>Familia 22) Sulidae</b>														
87) <i>Sula dactylatra</i>	VI	Ma	P	--	--	--	--	I	0	-	I	--	--	--
88) <i>Sula leucogaster</i>	Tr	Ma	P	--	--	--	--	I	0	I	I	--	--	--
<b>Familia 23)</b>														
<b>Phalacrocoracidae</b>														
89) <i>Phalacrocorax</i> <i>brasilianus</i>	R	Ma,Co	P,V	I	0.03	I	0.1	--	I	I	I	--	1	--
90) <i>Phalacrocorax auritus</i>	VI	Ma,Co	P,V	I	--	I	0.001	--	I	--	I	0.01	1	--
<b>Familia 24) Anhingidae</b>														
91) <i>Anhinga anhinga</i>	R	Co	P	I	--	--	--	--	I	--	--	--	--	--
<b>Orden 14)</b>														
<b>Pelecaniformes</b>														
<b>Familia 25) Pelecanidae</b>														
92) <i>Pelecanus</i> <i>erythrorhynchos</i>	VI	Ma	P,V	I	0.007	I	0.03	--	I	--	I	--	--	1
93) <i>Pelecanus occidentalis</i>	R	Ma	P,V	I	0.006	I	0.15	I	I	I	I	2.5	1	1
<b>Familia 26) Ardeidae</b>														
94) <i>Tigrisoma mexicanum</i>	R	Co	V	1	0.0003	--	--	--	--	--	--	--	--	--
95) <i>Ardea herodias</i>	Tr	Co	P,V,I	I	0.0004	1	0.002	I	I	--	I	--	I	--
96) <i>Ardea alba</i>	R	Co	P,V,I	I	0.04	I	0.003	I	I	I	I	--	I	--
97) <i>Egretta thula</i>	R	Co	P,VI	I	0.05	I	0.013	I	I	I	I	--	I	I
98) <i>Egretta caerulea</i>	R	Co	V	I	0.01	1	0.001	--	I	--	I	--	I	--
99) <i>Egretta tricolor</i>	R	Co	P,V,I	I	0.01	--	--	I	I	--	I	--	--	--
100) <i>Egretta rufescens</i>	Tr	Co	V	1	8.3E-05	1	0.0002	--	I	--	I	--	--	1
101) <i>Bubulcus ibis</i>	R	Co	V,I	I	0.5	1	0.001	I	I	--	I	--	--	1
102) <i>Butorides virescens</i>	R	Co	P,V,I	I	0.03	1	1.2E-05	I	I	--	I	--	1	--
103) <i>Nycticorax nycticorax</i>	R	Co	P,V,I	I	--	--	--	--	I	--	--	--	--	--
104) <i>Nyctanassa violacea</i>	R	Co	V,I	I	0.8	--	--	I	I	--	I	--	1	--
<b>Familia 27)</b>														
<b>Threskiornithidae</b>														
105) <i>Eudocimus albus</i>	VI	Co	V,I	I	0.6	I	0.15	I	I	I	I	--	1	--
106) <i>Eudocimus ruber</i> **	Tr	Co	O	--	--	1	0.0002	--	--	--	--	--	--	--
107) <i>Plegadis falcinellus</i>	Tr	Co	I,V	I	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
108) <i>Plegadis chibi</i>	VI	Co	I	1	0.1	1	0.001	--	1	--	1	--	--	--
109) <i>Platalea ajaja</i>	R	Co	I	1	0.04	1	0.001	--	1	--	1	--	--	--
<b>Orden 15)</b>														
<b>Cathartiformes</b>														
<b>Familia 28) Cathartidae</b>														
110) <i>Coragyps atratus</i>	R	Todos	C	1	0.04	1	0.02	--	1	1	1	--	1	1
111) <i>Cathartes aura</i>	R	Todos	C	1	0.004	1	0.1	--	1	1	1	--	1	1
<b>Orden 16)</b>														
<b>Accipitriformes</b>														
<b>Familia 29) Pandionidae</b>														
112) <i>Pandion haliaetus</i>	VI	Ma,Co	P,V	1	0.001	1	0.003	1	1	1	1	0.02	1	--
<b>Familia 30) Accipitridae</b>														
113) <i>Chondrohierax uncinatus Pr</i>	R	Te	V,I	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
114) <i>Elanus leucurus</i>	R	Te	V	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
115) <i>Rostrhamus sociabilis</i>	R	Co	I	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--
116) <i>Circus hudsonius</i>	VI	Te	V	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
117) <i>Buteogallus anthracinus Pr</i>	R	Ma,Co	V,I	1	0.003	1	0.01	--	1	--	1	--	--	1
118) <i>Buteogallus urubitinga Pr</i>	R	Te	V	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	1
119) <i>Rupornis magnirostris</i>	R	Te	I	1	0.01	1	3.5E-05	--	1	--	--	--	1	--
120) <i>Buteo nitidus</i>	R	Te	V,I	1	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
121) <i>Buteo platypterus Pr</i>	Tr	Te	V	1	0.0002	--	--	--	1	--	--	--	--	--
122) <i>Buteo swainsoni Pr</i>	Tr	Te	V,I	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Orden 17) Strigiformes</b>														
<b>Familia 31) Tytonidae</b>														
123) <i>Tyto alba</i>	R	Te	VI	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--
<b>Familia 32) Strigidae</b>														
124) <i>Glauclidium brasilianum</i>	R	Te	I	1	8.3E-05	--	--	--	1	--	--	--	--	--
<b>Orden 18)</b>														
<b>Trogoniformes</b>														
<b>Familia 33) Trogonidae</b>														
125) <i>Trogon melanocephalus*</i>	Tr	Te	I	1	0.001	--	--	--	1	--	--	--	--	--
<b>Orden 19) Coraciiformes</b>														
<b>Familia 34) Momotidae</b>														
126) <i>Momotus lessonii</i>	R	Te	I,F,V	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--
<b>Familia 35) Alcedinidae</b>														
127) <i>Megasceryle torquata</i>	R	Co	P	1	0.001	1	2.3E-05	1	1	1	--	--	1	--
128) <i>Megasceryle alcyon</i>	VI	Todos	P	1	8.3E-05	1	4.6E-05	--	1	1	1	--	1	--
129) <i>Chloroceryle americana</i>	R	Co	P	1	--	1	--	--	1	--	--	--	1	--
<b>Orden 20) Piciformes</b>														
<b>Familia 36) Picidae</b>														
130) <i>Melanerpes aurifrons</i>	R	Te	I,F	1	0.02	1	--	--	1	1	--	--	--	--

Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
131) <i>Sphyrapicus nuchalis</i>	Tr	Te	I,N	1	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
132) <i>Sphyrapicus varius</i>	VI	Te	I,N,F	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
133) <i>Picoides scalaris</i>	R	Te	I	1	0.0004	--	--	--	1	--	--	--	--	--
134) <i>Colaptes rubiginosus</i>	R	Te	I	1	8.3E-05	--	--	--	--	--	--	--	--	--
135) <i>Dryocopus lineatus</i>	R	Te	I	1	0.0015	--	--	--	1	--	--	--	1	--
<b>Orden 21) Falconiformes</b>														
<b>Familia 37) Falconidae</b>														
136) <i>Herpotheres cacinmans</i>	R	Te	V	1	0.0002	--	--	--	--	--	--	--	--	--
137) <i>Caracara cheriway</i>	R	Te	C	1	0.4	1	0.002	--	1	1	1	--	--	1
138) <i>Falco sparverius</i>	VI	Todos	V,I	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
139) <i>Falco columbarius</i>	VI	Todos	V	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
140) <i>Falco femoralis A</i>	R	Te	V,I	1	0.10	1	0.0003	--	1	--	1	--	--	1
141) <i>Falco peregrinus Pr</i>	VI	Todos	V	1	0.02	1	9.3E-05	1	1	1	1	--	--	--
<b>Orden 22) Psittaciformes</b>														
<b>Familia 38) Psittacidae</b>														
142) <i>Myiopsitta monachus</i>	II/R	Te	S,F,I	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
143) <i>Eupsittula nana Pr</i>	R	Te	F	1	1.1	1	--	--	1	--	--	--	1	1
144) <i>Ara macao P</i>	R	Te	S,F,N	--	--	--	--	--	--	--	--	--	1	--
145) <i>Amazona viridigenalis P</i>	R	Te	F	1	0.0006	--	--	--	--	--	--	--	--	--
146) <i>Amazona autumnalis</i>	R	Te	F	1	0.005	--	--	--	--	--	--	--	1	1
<b>Orden 23) Passeriformes</b>														
<b>Familia 39) Thamnophilidae</b>														
147) <i>Thamnophilus dohrnatus*</i>	Tr	Te	I	1	8.3E-05	--	--	--	1	--	--	--	--	--
<b>Familia 40) Furnariidae</b>														
148) <i>Sittasomus griseicapillus*</i>	Tr	Te	I	1	0.0002	--	--	--	--	--	--	--	--	--
149) <i>Xiphorhynchus flavigaster</i>	R	Te	I	1	0.0002	--	--	--	1	--	--	--	--	--
<b>Familia 41) Tyrannidae</b>														
150) <i>Camptostoma imberbe</i>	R	Te	I	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
151) <i>Contopus cooperi</i>	Tr	Te	I,F	1	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
152) <i>Contopus virens</i>	Tr	Te	I,F	1	0.0004	--	--	--	1	--	--	--	--	--
153) <i>Empidonax flaviventris</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
154) <i>Empidonax alnorum</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
155) <i>Empidonax minimus</i>	VI	Te	I	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
156) <i>Empidonax hammondi</i>	Tr	Te	I	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
157) <i>Empidonax wrightii</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
158) <i>Empidonax oberholseri</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
159) <i>Sayornis phoebe</i>	VI	Te	I	1	0.002	--	--	--	--	--	--	--	--	--
160) <i>Pyrocephalus rubinus</i>	R	Te	I	1	0.0003	--	--	1	1	--	--	--	--	--

Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
161) <i>Myiarchus tuberculifer</i>	R	Te	I	1	0.0003	--	--	--	1	--	--	--	--	--
162) <i>Myiarchus cinerascens</i>	VI	Te	I	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
163) <i>Myiarchus crinitus</i>	Tr	Te	I,F	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
164) <i>Myiarchus tyrannulus</i>	RV	Te	I	1	8.3E-05	--	--	--	1	--	--	--	--	--
165) <i>Pitangus sulphuratus</i>	R	Te	I,F,V	1	0.1	1	1.2E-05	--	1	1	--	--	1	--
166) <i>Myiozetetes similis</i>	R	Te	I,F	1	0.003	--	--	--	1	1	--	--	1	--
167) <i>Myiodynastes luteiventris</i>	RV	Te	I	1	0.0004	--	--	--	1	--	--	--	--	--
168) <i>Tyrannus melancholicus</i>	R	Te	I,F	1	0.03	1	0.0001	1	1	1	--	--	--	--
169) <i>Tyrannus tyrannus</i>	Tr	Te	I,F	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
170) <i>Tyrannus forficatus</i>	VI,Tr	Te	I,F	1	0.02	1	--	1	1	--	1	--	--	--
<b>Familia 42) Tityridae</b>														
171) <i>Tityra semifasciata</i>	R	Te	F,I	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Familia 43) Vireonidae</b>														
172) <i>Cyclarhis gujanensis</i>	R	Te	I	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
173) <i>Vireo griseus</i>	R	Te	I	1	0.0003	--	--	--	1	--	--	--	--	--
174) <i>Vireo solitarius</i>	VI	Te	I	1	8.3E-05	--	--	--	1	--	--	--	--	--
175) <i>Vireo philadelphicus</i>	Tr	Te	I	--	--	1	1.2E-05	1	--	--	--	--	--	--
176) <i>Vireo gilvus</i>	Tr	Te	I,F	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
<b>Familia 44) Corvidae</b>														
177) <i>Psilorhinus morio</i>	R	Te	I,F,V	1	0.01	1	--	--	1	--	--	--	1	--
178) <i>Cyanocorax yncas</i>	R	Te	I,F,V	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
179) <i>Corvus imparatus</i>	R	Te	O	1	0.003	1	0.01	--	--	--	--	--	--	--
180) <i>Corvus cryptoleucus</i>	VI	Te	O	--	--	1	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Familia 45) Hirundinidae</b>														
181) <i>Progne subis</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	--	1	--	1	--	--	--
182) <i>Progne chalybea</i>	RV	Te	I	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
183) <i>Tachycineta albilinea</i>	R	Te	I	1	--	1	--	--	1	--	1	--	--	--
184) <i>Stelgidopteryx serripennis</i>	VI/R	Te	I	1	0.4	--	--	--	1	1	1	--	1	--
185) <i>Riparia riparia</i>	Tr	Te	I	1	--	1	0.01	1	1	1	1	--	--	--
186) <i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	--	1	1	1	--	--	--
187) <i>Hirundo rustica</i>	Tr/ VI	Te	I	1	0.01	1	0.01	--	1	1	1	--	--	--
<b>Familia 46) Paridae</b>														
188) <i>Baeolophus atricristatus</i>	Tr	Te	I	1	0.002	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Familia 47) Troglodytidae</b>														
189) <i>Troglodytes aedon</i>	VI	Te	I	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
190) <i>Cistothorus palustris</i>	VI	Te	I	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
191) <i>Campylorhynchus zonatus</i>	R	Te	I	1	8.3E-05	--	--	--	1	--	--	--	--	--

Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
192) <i>Phegopedius maculipectus</i>	R	Te	I	1	0.006	--	--	--	1	--	--	--	--	--
<b>Familia 48) Polioptilidae</b>														
193) <i>Polioptila caerulea</i>	VI	Te	I	1	0.002	--	--	--	1	--	--	--	--	--
<b>Familia 49) Turdidae</b>														
194) <i>Catharus ustulatus</i>	Tr	Te	I,F	--	--	1	0.01	1	--	--	--	--	--	--
195) <i>Hylocichla mustelina</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
196) <i>Turdus grayi</i>	R	Te	I	1	0.001	--	--	--	1	1	--	--	--	--
<b>Familia 50) Mimidae</b>														
197) <i>Dumetella carolinensis</i>	VI	Te	I,F	1	0.001	--	0	1	1	--	--	--	--	--
198) <i>Mimus polyglottos</i>	R	Te	I	1	0.0002	--	0	1	--	--	--	--	--	--
<b>Familia 51) Passeridae</b>														
199) <i>Passer domesticus</i>	IIR	Te	O	1	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--
<b>Familia 52) Fringillidae</b>														
200) <i>Euphonia affinis</i>	R	Te	F	1	0.0003	--	--	--	1	--	--	--	--	--
201) <i>Euphonia hirundinacea</i>	R	Te	F	1	0.001	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Familia 53) Passerellidae</b>														
202) <i>Peucaea botterii</i>	R	Te	S	1	0.001	--	--	--	--	--	--	--	--	--
203) <i>Chondestes grammacus</i>	Tr	Te	I	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
204) <i>Passerculus sandwichensis</i>	VI	Te	S,I	1	0.001	--	--	--	1	--	--	--	--	--
205) <i>Ammodramus savannarum</i>	VI	Te	S,I	1	8.3E-05	--	--	--	1	--	--	--	--	--
206) <i>Melospiza lincolni</i>	VI	Te	S,I	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	--
<b>Familia 54) Icteriidae</b>														
207) <i>Icteria virens</i>	VI	Te	I	1	0.0006	--	--	--	1	--	--	--	1	--
<b>Familia 55) Icteridae</b>														
208) <i>Sturnella magna</i>	R	Te	I	1	0.002	--	--	--	--	--	--	--	--	--
209) <i>Amblycercus holosericeus</i>	R	Te	I	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	1
210) <i>Parocolius montezuma Pr</i>	R	Te	I	1	0.002	1	5.8E-05	--	--	--	--	--	1	1
211) <i>Icterus spurius</i>	VI	Te	F,I,N	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	1
212) <i>Icterus cucullatus</i>	R	Te	I,S	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
213) <i>Icterus gularis</i>	R	Te	I	1	0.002	--	--	--	1	--	--	--	--	--
214) <i>Icterus galbula</i>	VI	Te	F,I,N	1	0.0003	--	--	1	1	--	--	--	--	--
215) <i>Agelaius phoeniceus</i>	R	Te	I	1	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
216) <i>Molothrus aeneus</i>	R	Te	S	1	8.3E-05	--	--	--	--	--	--	--	1	--
217) <i>Dives dives</i>	R	Te	O	1	0.0002	--	--	--	1	--	--	--	--	--
218) <i>Euphagus cyanocephalus</i>	VI	Te	I,F,S	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	--
219) <i>Quiscalus mexicanus</i>	R	Te	I,F,S	1	0.1	1	0.1	--	1	1	1	--	--	1
<b>Familia 56) Parulidae</b>														
220) <i>Parkesia noveboracensis</i>	VI	Te	I	1	0.002	--	--	1	--	--	--	--	--	--

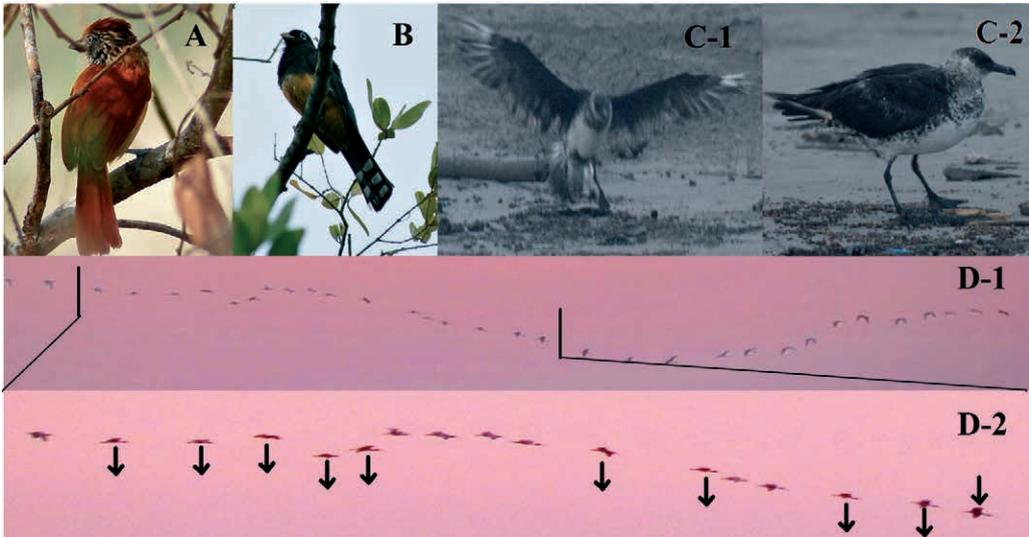
Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
221) <i>Mniotilta varia</i>	VI	Te	I	1	0.0003	--	--	1	1	--	--	--	--	--
222) <i>Oreothlypis peregrina</i>	Tr	Te	I	--	--	1	--	--	1	--	--	--	--	--
223) <i>Oreothlypis celata</i>	VI	Te	I	1	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
224) <i>Oreothlypis ruficapilla</i>	VI	Te	I	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
225) <i>Geothlypis poliocephala</i>	R	Te	I	1	0.001	--	--	--	--	--	--	--	--	--
226) <i>Geothlypis tolmiei</i> Am	VI	Te	I	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
227) <i>Geothlypis philadelphia</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	--
228) <i>Geothlypis formosa</i>	Tr	Te	I	1	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
229) <i>Geothlypis flavovelata</i> P	R/VI	Te	I	1	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
230) <i>Geothlypis trichas</i>	VI	Te	I	1	0.0002	--	--	1	1	--	--	--	--	--
231) <i>Setophaga citrina</i>	VI	Te	I	--	--	--	--	--	1	--	--	--	1	--
232) <i>Setophaga ruticilla</i>	Tr/VI	Te	I	1	8.3E-05	--	--	1	1	--	--	--	--	--
233) <i>Setophaga americana</i>	VI	Te	I	1	8.3E-05	--	--	--	1	--	--	--	--	--
234) <i>Setophaga magnolia</i>	VI	Te	I	1	--	--	--	1	1	--	--	--	1	--
235) <i>Setophaga castanea</i>	Tr	Te	I	1	0.0002	--	--	--	--	--	--	--	1	--
236) <i>Setophaga petechia</i>	VI	Te	I	1	0.02	--	--	1	1	--	--	--	--	1
237) <i>Setophaga pennsylvanica</i>	Tr	Te	I	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
238) <i>Setophaga palmarum</i>	Tr	Te	I	1	8.3E-05	--	--	--	--	--	--	--	--	--
239) <i>Setophaga coronata</i>	VI	Te	I	1	0.004	--	--	--	1	--	--	--	--	--
240) <i>Setophaga dominica</i>	VI	Te	I	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
241) <i>Setophaga chrysoparia</i> P	Tr	Te	I	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
242) <i>Setophaga virens</i>	VI	Te	I	1	0.001	--	--	--	1	--	--	--	--	--
243) <i>Cardellina canadensis</i>	Tr	Te	I,F	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	--
244) <i>Cardellina pusilla</i>	VI	Te	I,F	1	0.0003	--	--	1	1	1	1	--	--	--
<b>Familia 57) Cardinalidae</b>														
245) <i>Piranga rubra</i>	VI	Te	F	1	--	--	--	1	1	--	--	--	1	--
246) <i>Piranga olivacea</i>	TR	Te	I,F	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
247) <i>Cardinalis cardinalis</i>	R	Te	S	1	0.001	--	--	--	--	--	--	--	--	--
248) <i>Cardinalis sinuatus*</i>	Tr	Te	S	1	0.0002	--	--	--	--	--	--	--	--	--
249) <i>Pheucticus ludovicianus</i>	Tr	Te	I,S	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	--
250) <i>Cyanocopsa cyanoides</i>	Tr	Te	F,S	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
251) <i>Passerina caerulea</i>	VI	Te	F	1	8.3E-05	--	--	--	1	--	--	--	--	--
252) <i>Passerina cyanea</i>	Tr	Te	S	1	0.0004	--	--	--	1	--	--	--	--	1
253) <i>Passerina versicolor</i>	VI	Te	S,I	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--	--
254) <i>Passerina ciris</i> Pr	VI	Te	S,I	1	0.0003	--	--	1	1	--	--	--	--	1
255) <i>Spiza americana</i>	Tr	Te	S	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	--
<b>Familia 58) Thraupidae</b>														
256) <i>Thraupis episcopus</i>	R	Te	F	1	0.001	--	--	--	1	--	--	--	1	--
257) <i>Thraupis abbas</i>	R	Te	F,I	1	0.0002	--	--	--	1	--	--	--	--	--

Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México

---

Especie	Est	Hábitat	Items	AE	DAE	SALT			SAV			SAT		
						LC	DLC	AM	AE	LC	AM	DAM	AE	ACM
258) <i>Volatinia jacarina</i>	R	Te	S	I	0.002	--	--	--	I	--	--	--	--	--
259) <i>Tiaris olivaceus</i>	R	Te	S	I	0.003	--	--	--	--	--	--	--	--	--
260) <i>Sporophila torqueola</i>	R	Te	S,I	I	0.01	--	--	--	I	--	--	--	--	--
261) <i>Saltator coerulescens</i>	R	Te	S,F,I	I	--	--	--	--	I	--	--	--	--	--
262) <i>Saltator atriceps</i>	R	Te	F	I	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**Anexo II.** Nuevos registros de la ornitofauna para los ambientes costeros del norte de Veracruz (A y B) y del golfo de México (C y D). A) *Thamnophilus doliatus* (fotografiado por Cipriano-Anastasio), B) *Trogon melanocephalus* (fotografiado por Cipriano-Anastasio), *Stercorarius pomarinus* C-1) aterrizando y de C-2) perfil (fotografiado por Martínez-Cruz el 19-abr-2016). La foto D-1) muestra a una parvada combinada de *Eudocimus albus* y *E. ruber*, en el D-2) acercamiento a dicha parvada, las flechas indican los individuos de *E. ruber* avistados (fotografiado por Argüelles-Jiménez el 7-oct-2015). Notas: otros individuos de *E. ruber* fueron observados, pero no fotografiados, al medio día del 7-oct-2015; por último *S. pomarinus* fue observado en la línea costera de Tuxpan a Tamiahua, de abril a mayo de 2016.





Abarca-Arenas, L.G., J. Franco-López, E. Valero-Pacheco y C. González-Gándara, 2019. Species-Area and Trophic Level of the Fish Community of the Veracruz Coast, Mexico, p. 247-262. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

## Species-Area and Trophic Level of the Fish Community of the Veracruz Coast, Mexico

*L. G. Abarca-Arenas<sup>1\*</sup>, J. Franco-López<sup>2</sup>,  
E. Valero-Pacheco<sup>3</sup> y C. González-Gándara<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana.

<sup>2</sup>Laboratorio de Ecología, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

<sup>3</sup>Laboratorio de Hidrobiología, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana.

<sup>4</sup>Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Tuxpan, Universidad Veracruzana.

\*gabarca@uv.mx

### RESUMEN

La relación especie-área ha sido un tema recurrente en la ecología. Aquí presentamos la relación entre la riqueza de especies de peces de aleta y el área de 15 sitios a lo largo de la costa de Veracruz, dentro del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Los sitios son estuarios, lagunas costeras, arrecifes de coral y la plataforma continental costera. Además, utilizando los datos de FishBase de 261 especies de 500 en la lista, se calculó el nivel trófico de toda la comunidad y la relación entre el número de especies por intervalo de nivel trófico y el área de los sitios. La relación para el área de la especie fue estadísticamente significativa como  $S=45.7088A^{0.211}$ , donde el valor de la pendiente es representativo de la provincia biogeográfica Carolineana. El nivel trófico medio para todos los sitios fue de 3,43. El número de especies omnívoras fue alto en todos los sitios y, según el número de especies por intervalo de nivel trófico, la estructura trófica y la función de los arrecifes de coral parecen ser similares a las lagunas costeras y estuarios.

**Palabras clave:** biogeografía, ecología costera, ecología trófica.

## ABSTRACT

The species-area relation has been a recurrent theme in ecology and other sciences. Here, we present the relationship between the fin-fish species richness and the area of 15 sites along the coast of Veracruz, in the Gulf of Mexico. The sites are estuaries, coastal lagoons, coral reefs and the coastal shelf. Furthermore, using the FishBase data of 261 species of 500 in the list, the whole community trophic level was calculated as well as the relationship between the number of species by trophic level interval and the area of the sites. The relationship for the species-area was statistically significant as  $S=45.7088A^{0.211}$  where the slope value is representative of a biogeographic province, in our case the Carolinian. The mean trophic level for all sites was 3.43. The number of omnivorous species was high in all sites, and based on the number of species per trophic level interval, the trophic structure and function of coral reefs appear to be similar to coastal lagoons and estuaries.

**Key words:** Biogeography, Mexico, Coastal Ecology, Trophic ecology.

## INTRODUCTION

The species area relation has been a recursive theme, both in biogeography (MacArthur & Wilson, 1963; 1967) as in ecology (e.g. Connor & McCoy, 1979; Hubbel, 1997; Lomolino & Weiser, 2001; Triantis *et al.*, 2012; Matthews *et al.*, 2016) since it was presented by MacArthur & Wilson (1967) using a power-law relation in the form  $S=aA^z$ , where  $S$  are the number of species in an area  $A$ , and  $a$  and  $z$  are constants. The  $z$  value of the equation measures the rate at which the number of species increases as the area increases. Even though the relation predicts the number of species for an area size well, several other studies have been published showing its value could be different depending on the taxa being analyzed (Diamond & Mayr, 1976; Dengler, 2009; Triantis *et al.*, 2012; Matthews *et al.*, 2016). Other parameters such as distance of the islands from the continent or a major species pool, habitat diversity, or age of the areas (Martin, 1988; Storch *et al.*, 2003; Ricklefs & Lovette, 1999) could have an important effect on the species richness summed to the area of the sites. For example, Drakare *et al.* (2006) through a meta-analysis showed differences for the species–area relationship due to scale, taxa and sampling schemes. A further example is that of Triantis *et al.* (2003) who proposed a relationship between the area size ( $A$ ) and the number of different habitats ( $H$ ) in the areas. The result was an equation of the form:  $S=c(AH)^z$  showing that in this case both variables are important to describe the species richness and not just the area size. Furthermore, Triantis *et al.* (2012) tested 12 different models in order to relate the number of species and area of islands through a world-wide data analysis.

The species–area relationship has been tested and proved in many instances, the great majority dealing with terrestrial species (e.g. Boecklen, 1986; Newmark, 1986; Deshayé & Morriset, 1988; Kohn & Walsh, 1994; Tjörve, 2002; Triantis *et al.*, 2003; Kallimanis *et al.*, 2008), but with little work on fish communities (e.g. Jackson & Harvey, 1989; Grenovillet *et al.*, 2004; Reyjol *et al.*, 2007; Maltchik *et al.*, 2010; Abarca-Arenas *et al.*, 2012b; Triantis *et al.*, 2015). In a related

theme, Barton *et al.* (2013) presents an analysis between the scale of the sampling method and the beta diversity.

In recent years the relationship between the food web structure and the area has been explored (*e.g.* Holt *et al.*, 1999; Brose *et al.*, 2004). Based on the power law relation between the number of links of the food web and the number of species in a community, Brose *et al.* (2004) presented a model associating the species-area and the links-species relations in order to associate the food web structure complexity and the size of the area for various communities. Related to the food web structure is the trophic level of each species and the community obtained as the mean of all species interacting within it. A more complex food web will present longer trophic chains (*i.e.* the number of species from the basal to the top species) and more links per species. In aquatic communities, and in particular in the coastal zones (*i.e.* coastal lagoons, estuaries, coral reefs, coastal shelf) fish play an important role as carbon exporters-importers (Irlandi & Crawford, 1997; Marguillier *et al.*, 1997) and in the nutrient cycling in coral reef systems (Ogden, 1980; Meyer & Schults, 1985; Ziemann *et al.*, 1985; McAfee & Morgan, 1996). The estimated trophic level of fish in these systems ranges

from two to five whereas sharks and dolphins present values even higher (Dunne *et al.*, 2002; Williams & Martínez, 2004; Carscadden *et al.*, 2012; Hussey *et al.*, 2014).

Considering the above, one of the objectives of the present work was to test the power law equation by relating the number of fish species of 15 coastal sites of different size areas with the expectation that the species-area equation will adjust well to the data as has been established for other sets of data. It is not well known what is the proportion of fish species for each trophic level in a coastal system, and if there is a relationship between this proportion and the area they inhabit. By using trophic level data published for the fish present in the studied sites, it was expected that marine areas would present a higher number of species at the upper scale of the trophic level while estuarine sites will present a high number of species with a low to mid trophic level. Finally, as a third objective we tested the species by trophic level and the area relationship using the number of species at different trophic level intervals. It was anticipated that the number of mid-trophic level species will adjust better than other trophic levels to a power law equation when related to the area of the sites.

## METHODOLOGY

### STUDY AREA

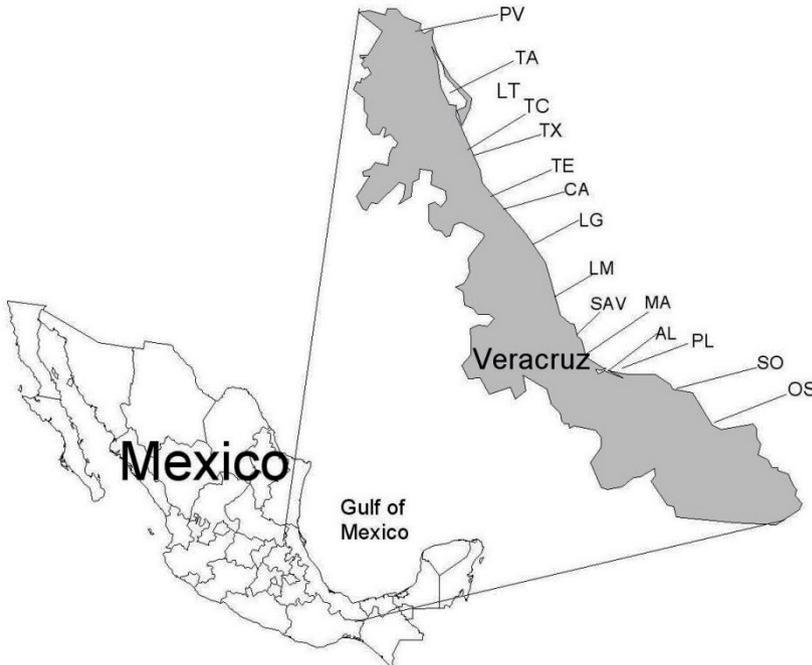
The State of Veracruz is located in the central part of the Mexican coast of the Gulf of Mexico, (Contreras & Warner, 2004; Bezaury, 2005) along the coast there are many lagoons, estuaries, marshes, and the mangrove forests

associated with them. The size of these sites varies from a few square kilometers to several hundred, all of them presenting a high productivity due to the high amount of nutrients from fresh water runoffs; as a consequence, fish richness is high, with 500 finfish species

being reported (Lara *et al.*, 2011; Abarca-Arenas *et al.*, 2012a; Franco-López *et al.*, 2012).

Using the list of fish species published by Abarca-Arenas *et al.* (2012) a table was constructed using 15 different sites along the Veracruz coast (figure 1) and the 500 species reported. The sites can be divided, according to their ocean and freshwater relation, as: a) Estuaries (Tampamachoco, Tuxpan, Tecolutla, and Casitas); b) Coastal Lagoons (Pueblo Viejo, Tamiahua, Laguna Grande, Alvarado, La Mancha, Mandinga, Alvarado, Sontecomapan and Ostión) and c) Oceanic (Veracruz Coral Reef System, Coastal Shelf off Alvarado and Lobos-Tuxpan Coral Reef System). The number of fish species per site and the area size is given in table 1.

For the species-area relation is represented as  $S=aA^z$  where  $S$  is the number of species and  $A$  is the area size, being  $a$  and  $z$  constants, the values of the number of species and the area of all sites were log-transformed prior to the regression analysis. An ANOVA was performed for the resulting model in order to determine if the calculated parameters were statistically significant through the Pearson correlation value. A second regression analysis was made using the species and areas data of all sites except the marine ones (both coral reefs and the coastal shelf) in order to determine the effect that the larger, more species-rich sites have on the model's slope. This also excluded the three sites with different habitats as compared to the estuaries and costal



**Figure 1.** Study sites along the coast of the Veracruz State, Mexico. The acronyms of the sites are: PV: Pueblo Viejo, TA: Tamiahua, TC: Tampamachoco, TX: Tuxpan, TE: Tecolutla, CA: Casitas, LG: Laguna Grande, LM: Laguna de la Mancha, MA: Mandiga, AL: Alvarado, SO: Sontecomapan, OS: Ostión, SAV: Sistema Arrecifal Veracruzano, PL:, Continental Shelf, LT: Lobos-Tuxpan Reef System.

**Table 1.** Name of the sites analyzed with their acronym as used in the text and Figure 1 along the coast of Veracruz, Mexico. Number of species reported and the area of each site, number and percent of species with trophic level (TL) data according to FishBase (Froese & Pauly 2015).

Site	Acronym	Number of species	Area (km <sup>2</sup> )	Number species with TL	% species with TL
Pueblo Viejo	PV	77	9.3	40	51.95
Tamiahua	TA	143	880	82	57.34
Tampamachoco	TC	176	15	100	56.82
Tuxpan	TX	59	3.21	37	62.71
Tecolutla	TE	49	3.83	29	59.18
Casitas	CA	33	1.95	20	60.61
<b>L.Grande</b>	LG	46	22.5	27	58.70
<b>L.Mancha</b>	LM	65	1.92	37	56.92
<b>Mandinga</b>	MA	89	32.5	51	57.30
<b>Alvarado</b>	AL	126	118	65	51.59
<b>Sontecomapan</b>	SO	92	8.91	45	48.91
<b>Ostión</b>	OS	62	12.7	40	64.52
<b>Veracruz Coral System</b>	SAV	226	252.39	144	63.72
<b>Continental Shelf</b>	PL	229	1000	132	57.64
<b>Lobos-Tuxpan Coral Reef</b>	LT	254	314.53	154	60.63

lagoons. The slopes of both models (with and without marine sites) were compared through an ANCOVA in order to test their statistical differences.

In order to determine the trophic level of the fish community for each site, a search of trophic level data for the 500 species was performed in the FishBase database (Froese & Pauly, 2015). The trophic level information for those species with data was compiled, and the mean value was used if more than one trophic level was reported. Of the 500 species in our list, 261 presented the trophic level data in FishBase (as consulted in March, 2018), representing 52.2% of all the fish species for the Veracruz coast used in the present work.

The data for the trophic level of the species as presented in FishBase have received several critics, mainly because of the confounding of data between different lengths or due to the small number, in some cases, of fish analyzed. Nevertheless, here are just some examples of the many scientific papers and thesis where the data has been successfully used. Nielsen *et al.* (2015) used the FishBase trophic level data to confront them with their Nitrogen analysis findings. Watson *et al.* (2015) used the trophic level of fishes as published in FishBase in order to estimate, through various simulations, the primary productivity of the oceans as a source for the marine food webs. Stock *et al.* (2017) related the world-wide

fisheries to the ocean productivity through a series of simulations and one of their variables was the trophic level of fishes as published by FishBase. Jayasinghe *et al.* (2017) using Eco-path and the FishBase's trophic levels evaluated various European fishing areas. Hempson *et al.* (2018) analyzed how the coral reef of the Seychelles changed before and after a disturbance due to a blanking effect. The analysis focused on the trophic structure of the ecosystem and the trophic level for the fish community was taken from the FishBase database. Finally, Nielsen *et al.* (2015, p633) wrote "Although imperfect, we consider that the output from these routines are the best available estimates of fractional TP from natural populations of marine organisms."

Once the trophic level for the species was compiled, a table for each site with the number of species divided by 0.5 intervals producing a total of five trophic level classes. The

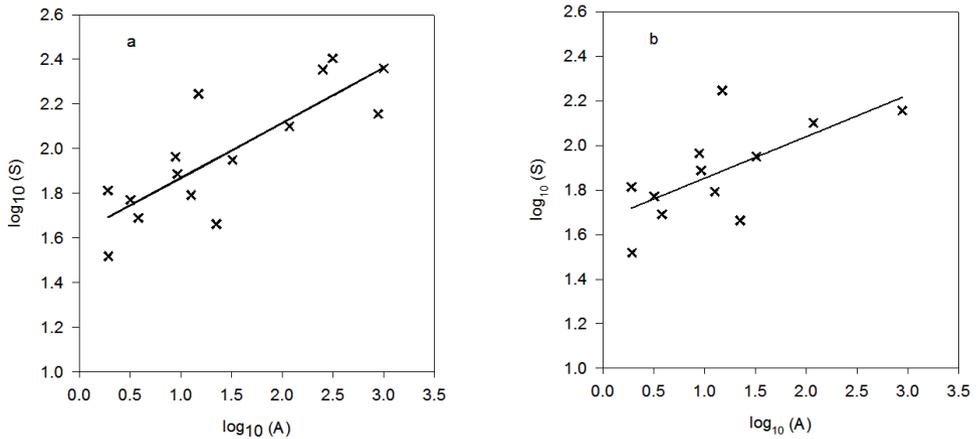
number of species per trophic level interval class for each site and its corresponding were log transformed in order to perform a regression analysis on them. This analysis was done in order to determine if there was a statistical relationship between the numbers of species per trophic level interval ( $S_{TL}$ ) per area. An ANOVA test was performed on each regression analysis to test if the correlation coefficient was statistically significant and the relationship was a potential equation. In this way the number of species per trophic level interval in relation to the area was obtained as  $S_{TL} = b A^u$ , where  $S_{TL}$  is the number of species per Trophic Level interval ( $TL$ ),  $A$  the area of the site, and  $b$  and  $u$  are constants. Finally, a Covariance Analysis was performed for all the regression computed in order to test the statistical similarity between the models' slopes.

## RESULTS

### SPECIES - AREA

A total of 15 sites were used to relate their fish species richness and the size of the area. Table 1 resumes the data used for species-area analysis, as taken from Abarca-Arenas *et al.* (2012) and Lara *et al.* (2011) totaling 500 fish species distributed along the Veracruz coast. The system with the larger area was the Continental Shelf off Alvarado (PL) with 1000 km<sup>2</sup> while La Mancha (LM) and Casitas (CA) were the smallest with 1.92 and 1.95 km<sup>2</sup> respectively. Considering the number of species, the Lobos-Tuxpan Coral Reef (LT) was the one with the highest number (254) and Casitas (CA) the lowest (33).

The species-area relationship as a log-log plot for all sites is presented in figure 2A. The linear regression resulted in an correlation coefficient  $R=0.803$  ( $P<0.001$ ) and the equation  $S = 45.7088 A^{0.211}$ . After removing the three oceanic sites (Coastal Shelf (PL), Lobos-Tuxpan (LT) and Veracruz coral reefs (SAV)) (figure 2B) a log-log relationship of species - area resulted in a smaller correlation than the previous one but statistically significant ( $R=0.670$ ,  $P=0.017$ ), and the equation for this relation is  $S = 46.2381 A^{0.187}$ . The ANCOVA analysis showed no significant statistical differences ( $F = 0.56$ ,  $P=0.4628$ ) between both, the values of the slopes for the model



**Figure 2.** a) Logarithm of the number of species for all sites analyzed against the logarithm of the area for each site. The resulting equation is  $S = 45.71A^{0.211}$  ( $R=0.803$ ;  $P<0.001$ ). b) Logarithm of the number of species of sites not including the marine ones against the logarithm of the area of those sites. The resulting equation is  $S = 46.238A^{0.187}$  ( $R=0.670$ ;  $P=0.017$ ).

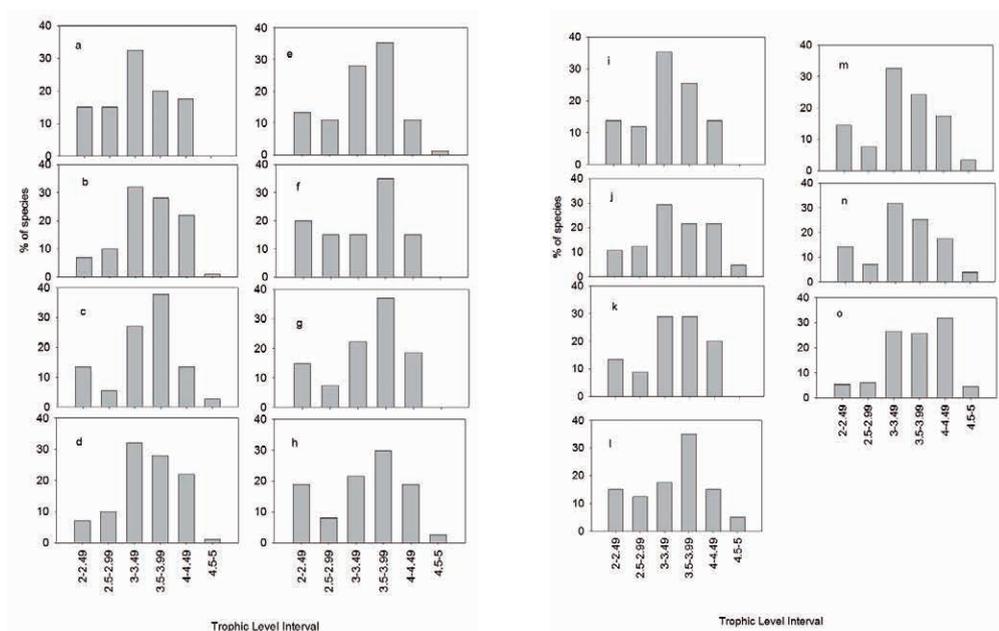
using all sites and that using only coastal sites, i.e. with and without the oceanic sites (figura 2).

### TROPHIC LEVEL

Of the 500 species in the list obtained from Abarca-Arenas *et al.* (2012a) and Lara *et al.* (2011) for the 15 sites studied, 261 of them (i.e. 52.2%) presented trophic level data in the FishBase (Froese & Pauly, 2015). The trophic level values for the 261 species spread from two to 4.7, with an average value of 3.43 for all sites. Considering all sites, the highest number of species with trophic level data was Lobos-Tuxpan Coral Reef (LT) with 154 species (that is 60.63% of all species present in that site). The site with the least number of species with data was Casitas estuary (CA) with 20 species (60.61% of the species present in the site). Overall, of all the species present in each site, all sites but one (Sontecomapan Lagoon, so) had more than 50% of their species with trophic level data.

After dividing the trophic level continuum in 0.5 intervals, and considering all species, the interval between 3.0 and 3.49 was the one with the highest number of species with 76; this is in accordance with the mean trophic level value obtained for all sites together. On the opposite side, the trophic level interval 4.5 to 4.49 was the one with the fewest number of species with 11. Of all sites analyzed, six (PV, CA, LG, LM, AL, and OS) did not present species in the highest trophic level interval, while the three oceanic sites presented the highest number of species for this interval.

In order to compare the distributions of species within and between sites according to the species per trophic level interval, the percentage of species per interval for each site was computed. In general, all sites presented the highest percent of fish species between the trophic level interval of 3.0 and 4.9 (figure 3). For the oceanic sites in particular, the Coastal Shelf off Alvarado (PL) presented a higher percent of species within the 4 and

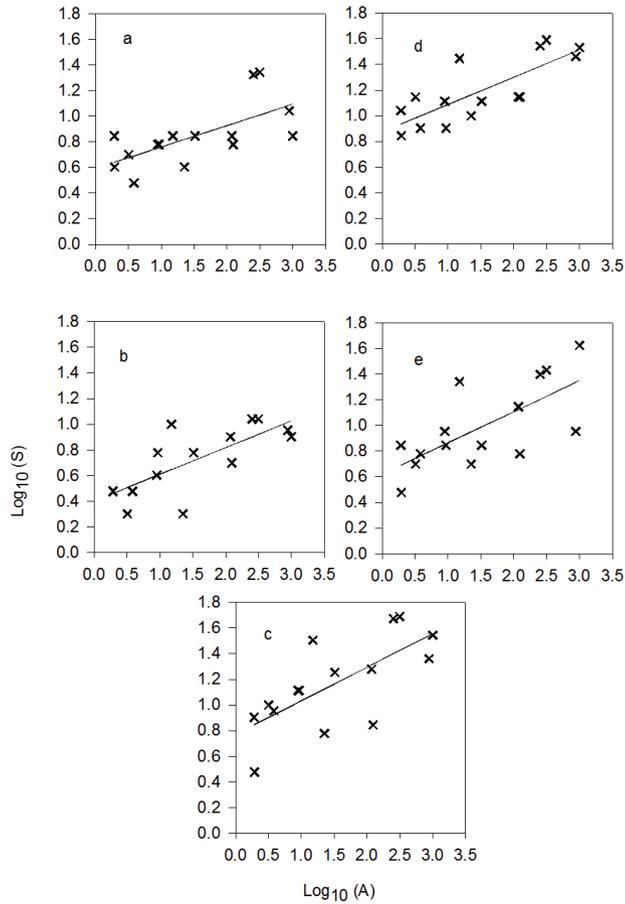


**Figure 3.** Percentage of the number of species for each trophic level interval for each site analyzed. The acronyms of the sites are as in table 1.

4.49 interval. In contrast to this, for the other two oceanic sites the highest percentage of species was within the 3.0 to 3.49 interval. Six sites presented the highest number of species within the interval of 3.5 to 3.99, and one, the Sontecomapan lagoon (so), with the same percentage of species for the intervals 3.0 to 3.49 and 3.5 to 4.0. In general, the interval between 2.5 and 2.99 was the one with the lowest percentage of species for all sites studied. It should be noted that both coral reef sites (LT and SAV) presented a similar percentage of species in the trophic level interval as other estuarine sites.

Figure 4 shows the log – log relationship of the number of species for all sites for each trophic level interval and the area size of all

sites. The analysis does not include the interval 4.5–5.0 because there are many sites with zero species such that it was statistically impossible to analyze. All correlations were statistically significant as shown in table 2, with the trophic level interval 3.5 to 3.99 presenting the highest correlation value ( $R=0.785$ ,  $P<0.001$ ), and the 2.00 to 2.49 interval the lowest ( $R=0.654$ ,  $P<0.008$ ). The trophic level interval 2.00 to 2.49 presented the lowest slope value of 0.167 while the interval 3.00 to 3.49 the highest with 0.262. The ANCOVA (table 3) showed no statistical differences between any of the slope values ( $u$ ) for the regression analyses, that is, all slopes are statistically similar (table 2).



**Figure 4.** Logarithm of the number of species for each trophic level interval considering all sites against the area of the sites a) TLI 2.00–2.49, b) TLI 2.50–2.99, c) TLI 3.00–3.49, d) TLI 3.50–3.99, e) TLI 4.00–4.49. The equations, R and P values for each regression are presented in table 2.

TLi	R	P	b	u
2.00-2.49	0.654	<0.008	0.591	0.167
2.50-2.99	0.744	<0.001	0.403	0.207
3.00-3.49	0.700	0.004	0.771	0.262
3.50-3.99	0.785	<0.001	0.875	0.213
4.00-4.49	0.693	0.004	0.623	0.242

**Table 3.** ANCOVA results for the slope ( $u$ ) comparison between the number of species per trophic level interval (TL) vs the area size for all sites analyzed, the lower triangle of the table represents the F value, and the upper triangle the P value for the test.

	TL1	TL2	TL3	TL4	TL5
TL1	-	0.5933	0.3099	0.5259	0.4036
TL2	0.29	-	0.5518	0.9393	0.6949
TL3	1.07	0.36	-	0.5793	0.8455
TL4	0.41	0.01	0.32	-	0.7314
TL5	0.72	0.16	0.04	0.12	-

## DISCUSSION

### SPECIES–AREA RELATION

The species-area relationship resulted in a significant power-law equation as expected, as has been obtained at other places and taxa (Maltchick *et al.*, 2010). The relationship was statistically significant with or without the three oceanic sites (Coastal shelf and two coral reefs), although with a higher correlation value when all sites were considered. The high correlation obtained by including the oceanic sites presents a better picture of the overall species relationship to the size of the area disregarding habitat type. This last variable has to be further analyzed in order to redefine, if necessary, the cause of the species richness along the Veracruz coast. Considering all sites, the result obtained for the slope value was within the limits of other studies from terrestrial or fresh water communities. Based on the Brown & Lomolino (1998) results, the slope value is concordant with that reported if the systems analyzed are within a biogeographical province (0.1 – 0.2), which is our case for the sites without the oceanic systems. The slope value obtained for all sites (0.211) is just above the mentioned interval, in which case it was within the interval for a

species-area relation of isolated habitat patches (Brown & Lomolino, 1998). Considering the small difference (0.01) of the slopes when all sites were taken into account and those reported for sites pertaining to a biogeographical province, we can assume that our results represent those for the Carolinian Biogeographic Province.

### TROPHIC LEVEL

The highest number of species fell within the 3.0 to 4.49 trophic level interval (196 of 261), with a low number of species for higher or lower intervals. This is representative of the estuaries and coastal lagoon analyzed in the study, which are fairly small, shallow and with a relatively unstable environment as they are influenced by both fresh and salt water. In the estuarine sites it was common to find fresh water fish considered mostly within the lower trophic levels while the oceanic sites presented a higher number of species within the mid trophic levels. On the other hand, the number of species of the low trophic level interval, those between 2.0 and 2.49, is higher in the estuarine sites representing the influence to estuaries and coastal lagoon of fresh water

from rivers. In the case of the coral reefs, the high amount of species in the low trophic level interval (herbivorous) is normal due to the high amount of algae, macro algae, and sea grass in these systems (Choat *et al.*, 2002; Kramer *et al.*, 2013). When compared with the other sites studied, it should be noted that the proportion of fishes by trophic level for both coral reef sites is similar to estuaries and coastal lagoons, suggesting a similar functional structure of the fish community in these sites.

Defining an omnivorous species as that which feeds on more than one trophic level, those species between trophic levels of 2.5 and 4.0 will be considered omnivorous for our data, while species in the 2.0–2.49 interval will be considered herbivorous, and species with a trophic level higher than 4.0 as carnivorous. According to González-Bergonzoni *et al.* (2012) a decrease in the number of omnivorous species occurs from fresh water systems towards the marine areas passing through estuaries or coastal lagoons. Based on the above assumption of omnivory, our results reflect what González-Bergonzoni *et al.* (2012) found for the estuarine and coastal lagoons given that most of the species may be con-

sidered omnivorous, and some herbivorous from adjacent fresh water systems. The case of both coral reef systems is contrary to that expected: being a marine area, the number of omnivorous species is similar to that of estuaries and coastal lagoons and the number of carnivorous is low, as was expected. However, in accordance with González-Bergonzoni *et al.* (2012) and Kramer *et al.* (2012) the coastal shelf was the only one presenting a higher percentage of carnivorous species compared with all other sites analyzed. That is, the trophic structure of the fish community of coral reef systems apparently behaves like estuaries or coastal lagoons. This characteristic could be explained by the fact that these fishes feed on arthropods and algae living on reefs and their lagoons, areas that are too shallow for big carnivorous fishes to enter. This is the same effect that estuaries and coastal lagoons present mostly on their shores, where additionally to the shallow depth there is a great amount of mangrove roots obstructing the free swimming and entry of carnivorous fish. The situation is the opposite of that of the coastal shelf where no shelter exists and free swimming is possible by large predators, including sharks and dolphins, in search of prey.

## CONCLUDING REMARKS

The fish species richness of various communities correlated significantly to the area of the sites where they inhabit using the power-law model. Even when different types of ecosystems were incorporated in the model, the correlation improved considerably. This result mimics many other works of different latitudes, habitat types, and taxa, as the spe-

cies richness relates well to the basic idea of MacArthur & Wilson (1963, 1967). Up to our knowledge, this is the first analysis where the fish species richness is related to the area of their habitat in the area of the Gulf of Mexico. On the value of the model's slope, it resulted within the limits of other works. Abarca-Arenas *et al.* (2012) discuss the possi-

bility that the Carolinian Province is further north to what it is commonly placed, something that is supported by the results of the present work considering that many of the sites used in the model are located beyond the original boundary.

The dominant trophic levels for the whole area were those between 3.0 and 3.49, which correspond to omnivorous species as has been the case for other places. Based on the domi-

nant trophic level of the coral reef sites analyzed, it is possible to say that their functional structure is more akin to estuaries and coastal lagoons than to open ocean areas. Contrary to what was expected, the number of species for all trophic level intervals was statistically correlated to the area, which may show that their trophic structure is similar, even though there are certain habitat differences.

## ACKNOWLEDGEMENT

Thanks go to the Laboratory of Ecology, FES Iztacala, UNAM since this work is part of the sabbatical research of LGAA in that Laboratory.

## REFERENCES

- Abarca-Arenas, L.G., N. Cruz, J. Franco-López, C. González-Gándara & G. Silva-López, 2012a. Distribution and biogeographical notes of the coastal fish fauna of Veracruz, Mexico. En: Thangadurai, D., C.A. Busso, L.G. Abarca-Arenas & S. Jayabalan (eds), 2012. *Frontiers in Biodiversity Studies*. I.K. International Publishing House, Pvt. Ltd. New Delhi. India 440 pp.
- Abarca-Arenas, L.G., J. Franco-López, C. González-Gándara & G. Silva-López, 2012b. Los peces de la costa veracruzana: relación especie-área y conectividad entre sitios. En: Del Moral F.L., J.A. Martínez, J. Franco-López, A.J. Ramírez & J.L. Tello-Musi (eds). *Investigación Ictiológica en México: Temas selectos en honor al Dr. José Luis Castro Aguirre*. FES-I UNAM-Sociedad Ictiológica Mexicana A.C. México. 304 pp.
- Barton, P.S., S.A. Cunningham, A.D. Manning, H. Gibb, D.B. Lindenmayer & R.K. Didham, 2013. The spatial scaling of beta diversity. *Global Ecology & Biogeography*, 22:639-647.
- Bezaury, J.E., 2005. Protected areas and coastal and ocean management in Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 48:1016-1046.
- Boeklen, W.J., 1986. Effects of habitat heterogeneity on the species-area relationships of forest birds. *Journal of Biogeography*, 13:59-68.
- Brose, U., A., Ostling, K. Harrison & N.D. Martinez, 2004. Unified spatial scaling of species and their trophic interactions. *Nature*, 428:167-171.
- Brown, J.H. & M.V. Lomolino, 1998. *Biogeography*. Sinauer Associates, Sunderland, MA.
- Choat, J.H., K.D. Clements & W.D. Robins, 2002. The trophic status of herbivorous fishes on coral reefs. *Marine Biology*, 140:613-623.
- Carscallen, M.A., K. Vandenberg, J.M. Lawson, N.D. Martinez & T.N. Romanuk, 2012. Estimating trophic position in marine and estuarine food webs. *Ecosphere*, 3:1-20.
- Connor, E.F. & E.D. McCoy, 1979. The statistics and biology of the species-area relationship. *American Naturalist*, 113:791-833.

- Contreras, E.F. & G.B. Warner, 2004. Ecosystem characteristics and management considerations for coastal wetlands in Mexico. *Hydrobiologia*, 511:233-245.
- Dengler, J., 2009. Which function describes the species-area relationship best? A review and empirical evaluation. *Journal of Biogeography*, 36:728-744.
- Deshaye, J. & P. Morriquet, 1988. Floristic richness, area, and habitat diversity in a hemiarctic archipelago. *Journal of Biogeography*, 15:747-757.
- Diamond, J.M. & E. Mayr, 1976. Species-area relation for birds of Solomon Archipelago. *Proceedings of the National Academy of Science*, 73(1):262-266.
- Drakare, S., J. Lennon & H. Hillebrand, 2006. The imprint of the geographical, evolutionary and ecological context on species-area relationships. *Ecology Letters*, 9:215-227.
- Dunne, J.A., R.J. Williams & N.D. Martinez, 2002. Network structure and biodiversity loss in food webs: robustness increases with connectance. *Ecology Letters*, 5:558-567.
- Ferreira, E.L., S.R. Floeter, J. Gasparini, B. Ferreira & J.C. Joyeux, 2004. Trophic structure patterns of Brazilian reef fishes: a latitudinal comparison. *Journal of Biogeography*, 31:1093-1106.
- Franco-López, J., L.G. Abarca-Arenas, C. Bedia-Sánchez, H. Barrera-Escorcia & G. Silva-López. 2012. Comportamiento de la comunidad ictiofaunística, ante los cambios ambientales a nivel local y regional en la laguna de Alvarado. 259-283. En: Del Moral F.L., J.A. Martínez, J. Franco-López, A.J. Ramírez & J.L. Tello-Musi (eds). *Investigación Ictiológica en México: Temas selectos en honor al Dr. José Luis Castro Aguirre*. FES-I UNAM-Sociedad Ictiológica Mexicana A.C. México. 304 pp.
- Froese, R. & D. Pauly (eds), 2015. FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (10/2015).
- Grenovillet, G., D. Pon & C. Hérisse, 2004. Within-basin fish assemblage structure: The relative influence of habitat versus stream spatial position on local richness. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61:93-102.
- González-Bergonzoni, I., M. Meerhoff, T.A. Davidson, F. Texeira-de Mello, A. Baattrup-Pedersen & E. Jeppesen, 2012. Meta-analysis shows a consistent and strong latitudinal pattern in fish omnivory across ecosystems. *Ecosystems*, 15:492-503.
- Hempson, T.N., A.J. Graham, M.A. MacNeil, A.S. Hoey & S.K. Wilson, 2018. Ecosystem regime shifts disrupt trophic structure. *Ecological Applications*, 28(1):191-200.
- Holt, R.D., J.H. Lawton, G. Polis & N.D. Martinez, 1999. Trophic rank and the species-area relationship. *Ecology*, 80(5):1495-1504.
- Hubbe, S.P., 1997. A unified theory of biogeography and relative species abundance and its application to tropical rain forests and coral reefs. *Coral Reefs*, 16 (Suppl):S9-S21.
- Hussey, N.E., A.M. MacNeil, B.C. McMeans, J.A. Olin, F.J. Dudley, G. Cliff, S.P. Wintner, S.T. Fennessy & A.T. Fisk, 2014. Rescaling the trophic structure of marine food webs. *Ecology Letters*, 17:239-250.
- Irlandi, E.A. & M.K. Crawford, 1997. Habitat linkages: the effect of intertidal salt marshes and adjacent subtidal habitats on abundance, movement, and growth of an estuarine fish. *Oecologia*, 110:222-230.
- Kallimanis, A.S., A.D. Mazaris, J. Tzanopoulos, J.M. Halley, J.D. Pantis & S.P. Sgardelis, 2008. How does habitat diversity affect the species-area relationship? *Global Ecology & Biogeography*, 17:532-538.
- Kohn, D.P. & D.M. Walsh, 1994. Plant species richness and habitat diversity. *Journal of Ecology*, 82:367-377.
- Kramer, M.J., O. Bellwood & D.R. Bellwood, 2013. The trophic importance of algal turfs for coral reef fishes: the crustacean link. *Coral Reefs*, 32(2): 575-583.
- Lara, A.L., J. Franco-López, S.C. Bedia, L.G. Abarca-Arenas, R.S. Diaz, L.A. Aguirre, G.C. González & R.M. Castillo, 2011. Diversidad

- ítica de los ambientes costeros y plataforma continental. En: La biodiversidad en Veracruz, estudio de estado. CONABIO. Vol. II:505-516.
- Lomolino, M.V. & M.D. Weiser, 2001. Towards a more general species-area relationship: diversity on all islands, great and small. *Journal of Biogeography*, 28:431-445.
- McAfee, S.T. & S.G. Morgan, 1996. Resource use by five sympatric parrot fishes in the San Blas Archipelago, Panama. *Marine Biology*, 125:427-437.
- MacArthur, R.H. & E.O. Wilson. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution*, 17(4):373-387.
- MacArthur, R.H. & E.O. Wilson, 1967. The theory of island biogeography. Princeton University Press, New Jersey.
- Maltchik, L., L.E. Krause, C. Stenert & S.F. Medeiros, 2010. Species-area relationship and environmental predictors of fish communities in coastal freshwater wetlands of south Brasil. *Environmental Biology of Fishes*, 85:25-35.
- Marguillier, S., G. van der Velde, F. Dehairs, M.A. Hemminga & S. Rajagopal, 1997. Trophic relationships in an interlinked mangrove-seagrass ecosystem as traced by  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ . *Marine Ecology Progress Series*, 151:115-121.
- Martin, T.E., 1988. Processes organizing open-nesting bird assemblages: competition or nest predation? *Evolutionary Ecology*, 2:37-50.
- Matthews, T.J., F. Guilhaumon, K.A. Triantis, M.K. Borregaard & R.J. Whittaker, 2016. On the form of species-area relationships in habitat islands and true islands. *Global Ecology & Biogeography*, 25:847-858.
- Meyer, J.L., E.T. & Schultz, 1985. Migrating haemulid fishes as a source of nutrients and organic matter on coral reefs. *Limnology & Oceanography*, 30:146-156.
- Newark, W.D., 1986. Species-area relationship and its determinants for mammals in western North American national parks. *Biological Journal of the Linnean Society*, 28:83-98.
- Nielsen, J.M., B.N. Popp & M. Winder, 2015. Meta-analysis of amino acid stable nitrogen isotope ratios for estimating trophic position in marine organisms. *Oecologia*, 178:631-642.
- Ogden, J.C., 1980. Faunal relationships in Caribbean seagrass beds. En: Phillips, R.C. & C.P. McRoy (eds). Handbook of seagrass biology. An ecosystem perspective. New York. Garland STPM Press. 173-198. pp.
- Ricklefs, R.E. & I.J. Lovette, 1999. The roles of island area per se and habitat diversity in the species-area relationships of four Lesser Antillean faunal groups. *Journal of Animal Ecology*, 68:1142-1160.
- Reyjol, Y., B. Hugueny, D. Pont, P.G. Bianco, U. Beier, N. Caiola, F. Casals, I. Cowx, A. Economou, T. Ferreira, G. Haidvogel, R. Noble, A. de Sostoa, T. Vigneron & T. Virbickas, 2007. Patterns in species richness and endemism of European freshwater fish. *Global Ecology & Biogeography*, 16:65-75.
- Stock, C.A., J.G. John, R.R. Rykaczewski, R.G. Asch, W.L. Cheung, J.P. Dunne, K.D. Friedland, W.Y. Lam, J.L. Sarmiento & R.A. Watson, 2017. Reconciling fisheries catch and ocean productivity. *Proceeding of the National Academies of Science*, 1441-1449.
- Storch, D., A.L. Šizling & K.J. Gaston, 2003. Geometry of the species-area relationship in central European birds: testing the mechanism. *Journal of Animal Ecology*, 72:509-519.
- Tjörve, E., 2002. Habitat size and number of multi-habitat landscape: a model approach based in species-area curves. *Ecography*, 25:17-24.
- Triantis, K.A., M. Mylonas, K. Lika & K. Vardi-noyannis, 2003. A model for the species-area-habitat relationship. *Journal of Biogeography*, 20:19-27.
- Triantis, K.A., G. Francoise & R.J. Whittaker, 2012. The island species-area relationship: biology and statistics. *Journal of Biogeography*, 39:215-231.
- Triantis, K.A., E.P. Economo, F. Guilhaumon & R.E. Ricklefs, 2015. Diversity regulation at

- macro-scales: species richness on oceanic archipelagos. *Global Ecology & Biogeography*, 24:594-605.
- Watson, R.A., G.B. Nowara, K. Hartmann, B.S. Green, S.R. Tracey & C.G. Carter, 2015. Marine foods sourced from farther as their use of global ocean primary production increases. *Nature Communicatios*, DOI:10.1038/ncomms8365
- Williams, R.J. & N. Martínez, 2004. Limits to trophic levels and omnivory in complex food webs: theory and data. *American Naturalist*, 163:458-468.
- Zieman, J.C., R.L. Iverson & J.C. Ogden, 1984. Herbivory effects on *Thalassia testudinum* leaf growth & nitrogen content. *Marine Ecology Progress Series*, 15:151-158.



Argüelles-Jiménez, J., M. Ricaño-Soriano y V. de la Cruz-Francisco, 2019. Hacia la Comprensión de los Aspectos Sociales y Económicos de la Pesca en el Corredor Arrecifal Veracruzano: Tamiahua como Caso de Estudio, p. 263-280. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Hacia la Comprensión de los Aspectos Sociales y Económicos de la Pesca en el Corredor Arrecifal Veracruzano: Tamiahua como Caso de Estudio

*J. Argüelles-Jiménez<sup>1\*</sup>, M. Ricaño Soriano<sup>2</sup> y V. De la Cruz-Francisco<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana,

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Tuxpan, Universidad Veracruzana

\*cayix24@hotmail.com

## RESUMEN

De Tamiahua a Cazonces se encuentra un polígono de pesca en el cual se halla inmerso el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, aquí el conocimiento de la actividad pesquera, especialmente el que aborda los aspectos sociales de las comunidades de pescadores ha sido poco profundizado. Por tal motivo, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el contexto social, económico (costo-beneficio) y la composición específica de la actividad pesquera marina de Tamiahua. Durante el 2008, se realizaron encuestas y se analizaron las capturas pesqueras obtenidas de CONAPESCA. Del análisis de la información se obtiene que dicha actividad es de tipo artesanal, con cerca de 300 pescadores con un nivel de estudio bajo (primaria) y pocos ingresos mensuales (\$1 725.00 MXN). Los análisis de clasificación y ordenación sugieren una estructura temporal de las especies objetivos (septiembre-enero y febrero-agosto) caracterizados por fluctuaciones de los volúmenes de captura y valores comerciales, los cuales en conjunto sostienen la rentabilidad de la flota pesquera, con un beneficio económico de \$1 340 047.00 MXN para el 2008 repartido entre los permisionarios y cooperativas.

**Palabras clave:** pesquerías artesanales, socioeconómico, Tamiahua, Veracruz.

## ABSTRACT

Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan is immersed in a fishing area spanning from Tamiahua to Cazesones. The knowledge of the fishing activity on the area, specially the one that addressing social aspects of fishing communities has not been explored. For this reason, using surveys and data from CONAP-ESCA, we analyzed the socio-economic (cost-benefit) context as well as the specific composition of the marine fisheries in 2008. Fishing activities on the area are artisanal with around 300 fishermen with basic study level (primary) and low monthly income (\$90.9 USD). Classifying and ordering analyses suggest a temporary structure of target species (September to January and February to August) characterized by fluctuating catch volumes and commercial value which together maintain the profitability of the fishing fleet with a revenue of \$70,611.89 USD on 2008 divided between concessionaires and cooperatives.

**Keywords:** Artisanal fisheries; Socioeconomy; Tamiahua, Veracruz.

## INTRODUCCIÓN

Para quienes viven en cercanía con el mar, los arrecifes de coral son absolutamente vitales en el buen vivir debido a los múltiples servicios ambientales que brindan (Martínez-Esponda, 2017). Sus recursos son empleados por los seres humanos para una amplia gama de fines, incluyendo generación de ingresos, investigación y recreación. Por ello, constituyen la base para la subsistencia, seguridad y cultura de las sociedades costera (Rivera-Arriaga *et al.*, 2004).

A lo largo del golfo de México se presentan una serie de sistemas arrecifales, y sólo en los 745 km de litoral veracruzano (González-Gándara, 2011) se han identificado una serie de formaciones no emergentes y tres grandes sistemas: Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) y Sistema Arrecifes los Tuxtlas (SAT), que en conjunto conforman el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013; Martínez-Esponda, 2017).

Uno de los principales aprovechamientos que se hace sobre los recursos arrecifales de Veracruz es la pesca, la cual en conjunto con

la realizada en la zona costero-marina y en sistemas asociados a los arrecifes como ríos, lagunas y esteros, permiten que dicha entidad se ubique en el quinto lugar de producción pesquera a nivel nacional (Lango y Castañeda, 2011). De la pesca desarrollada en la zona costero-marina veracruzana destacan un sinnúmero de especies ya sea por su elevado valor comercial, o por sus grandes volúmenes de captura, como son: sierra (*Scomberomurus maculatus*), mojarra (*Diapterus auratus*), lebrancha (*Mugil curema*), bonito (*Euthynnus alletteratus*), peto (*Scomberomorus cavalla*), robalo (*Centropomus undecimalis*), pargo (*e.g. Lutjanus griseus*), jurel (*Carax hippos*), pámpano (*Trachinotus falcatus*), rubia (*Ocyurus chrysurus*), mero (*Epinephelus itajara*), lisa (*Mugil cephalus*), tiburón (*Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus brevipinna*, *Galeocerdo cuvier*, *Negaprion brevirostris*, *Prionace glauca*), atún (*Thunnus albacares*), entre otros (Quiroga *et al.*, 2002; Lara-Domínguez *et al.*, 2011).

Para el aprovechamiento de los recursos, la actividad pesquera generalmente se organiza en diferentes niveles como: pescadores libres,

sociedades cooperativas pesqueras y permisionarios privados (Rivera Arriaga *et al.*, 2004). En el caso de Tamiahua, municipio ubicado en el norte del CASGM se pueden distinguir dos grupos claros de pescadores: 1) las cooperativas que trabajan en la laguna de Tamiahua, y 2) los permisionarios y cooperativas que trabajan en el SALT, y en el ambiente marino-costero en general. A pesar de la importancia ecológica y socioecológica que representa la actividad pesquera de Tamiahua dentro del CASGM, los estudios son escasos, destacándo-

se aquéllos que se enfocan a los elasmobranchios (Ricaño-Soriano, 2010; Garcés-García, 2010, García-Álvarez, 2010) y escama marina (Cruz-Jiménez, 2013); sin embargo, persisten vacíos de información concernientes a los aspectos bioeconómicos. De esta manera, el presente estudio tiene como objetivo caracterizar la actividad pesquera de Tamiahua a través de su pesca multiespecífica, la estructura de esta actividad y los aspectos socioeconómicos de la comunidad de pescadores.

## MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDIO

Tamiahua colinda con otros 10 municipios dentro de los cuales se puede mencionar: Tampico Alto y Ozuluama de Mascareñas al norte, Tamalín y Naranjos al oeste, Cerro Azul y Tuxpan al sur. Asimismo, colinda hidrológicamente al norte con la laguna de Tamiahua y al este con el golfo de México, ambas cuencas se encuentran conectadas por una estrecha desembocadura. El polígono de pesca dentro del área marina se ubica al norte entre los 21°54'4.28" N, 97°39'37.67" W y los 21°58'47.21", 91°21'21.14"; y al sur, entre los 20°42'37.05"N, 96°11'5.69"W y los 20°45'58.10"N, 96°58'34.64"W. Ocupa un área aproximada de 3 000 km<sup>2</sup>, empero, muchos pescadores llegan hasta los límites de Veracruz con Tamaulipas (figura 1).

### DISEÑO DE MUESTREO Y MÉTODOS EMPLEADOS

Se aplicaron 42 encuestas durante el año 2009 en las comunidades de pescadores: Ba-

rra de Corazones y Milpas, así como en las cooperativas y permisionarios que ofertan escama marina. La información se dividió en: 1) caracterización del perfil socioeconómico de los pescadores (edad, escolaridad, estado civil, vivienda, servicios, ingresos mensuales); y 2) caracterización de la pesquería (flota pesquera, artes de pesca, costos por viaje, canales de comercialización y la relación costo/beneficio durante el 2008).

### ANÁLISIS DE DATOS

El perfil socioeconómico de los pescadores y características de la actividad pesquera se analizaron con estadística básica, los resultados se presentan de manera porcentual. Mientras que la relación costo beneficio (*CB*) se obtuvo a través de la fórmula  $CB = Gn - Eas$ , donde a la ganancia neta (*Gn*) se le resta los egresos anuales (*Eas*) (por concepto de ingreso promedio de los pescadores y costos por transporte del producto al mercado nacional). En cuanto a los egresos anuales se establecieron

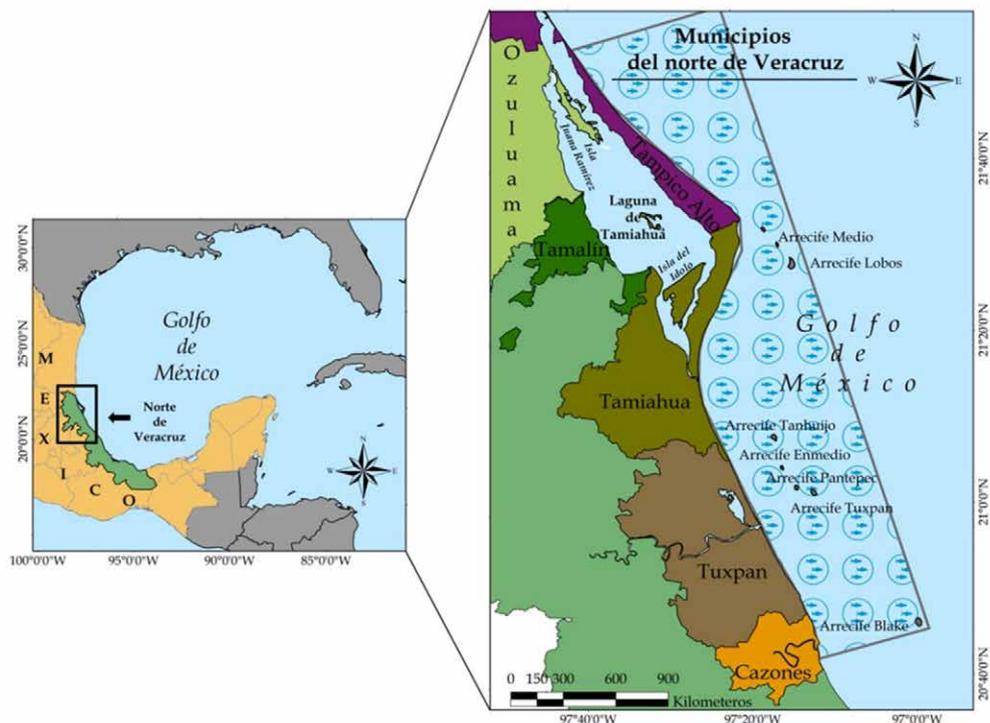


Figura 1. Polígono de pesca para el norte de Veracruz que comparte Tamiagua con otros municipios costeros.

supuestos para los pescadores y permisionarios dada la carencia de datos precisos (*e.g.* costos mensuales, anuales).

Con relación al primer grupo, el costo por viaje se estimó a partir de la carnada, hielo en barra, gasolina y lubricante (insumos), estos egresos se determinaron por unidad de pesca (lancha) de manera diaria, mensual y anual. El costo unitario por viaje se extrapoló al total de unidades de pesca estimado. Para ello se consideró la operación diaria de 75 unidades de pesca, un viaje por unidad de pesca, 100 L de gasolina por viaje, entre 60 kg y 15 kg de dos tipos de carnada, media barra de hielo triturado y 11 meses efectivos de pesca.

Con relación a los permisionarios-cooperativistas se establecieron como constantes los

siguientes egresos: ingreso promedio de la población pesquera estimada; así como un número de viajes y costos del transporte a la semana constante para los mercados nacionales.

Por último, las especies de interés comercial se determinaron en las áreas de descarga con ayuda de literatura especializada (FAO 2002a; 2002b; Froese y Pauly 2018), y se enlistaron con base al criterio de Nelson (2006). Para establecer las especies (escama y elasmobranchios) de mayor importancia (de manera general y temporal) con relación al volumen y valor comercial se realizó un análisis de similitud porcentual al 90% (SIMPER). Mientras que para determinar si existe una distribución temporal entre dichas especies se realizó un clúster y un análisis de correspondencia ca-

nónica (CCA). Dichos análisis se realizaron con el programa PRIMER v6 (Clarke y Gorley 2006), PAST (Hammer *et al.*, 2001) y CANO-

CO (Ter Braak y Smilauer 2002) respectivamente.

## RESULTADOS

### CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL SOCIOECONÓMICO

La comunidad de pescadores en el 2009 se compuso de aproximadamente 300 personas, la mayor parte vive en las comunidades de Milpas y Barra de Corazones (75 %); éstos, presentan un rango de edad de entre 17 a 64 años, con una moda de 40. En cuanto al nivel educativo, el 95 % de los encuestados ha concluido algún nivel educativo del que destaca la primaria (65 %), mientras que un reducido número de personas concluyeron la preparatoria (10 %) o la secundaria (20 %). Al momento de la entrevista el 75 % se encontraban casados y solo el 2 % se había divorciado; ambos grupos presentaron un número variable de hijos.

Dentro de las comunidades donde habitan, se presentan todos los servicios básicos y como medio de transporte utilizan bicicletas, motocicletas y sus embarcaciones; solo en la comunidad Milpas hay servicio de taxi. Con relación a su patrimonio, el 80 % presenta vivienda propia (construidas a base de ladrillos, cemento, con techo de lámina de zinc, asbesto o concreto) y, en general, cuentan con dos recamaras, cocina, sala, comedor y con patio. El 95 % de los hogares cuenta con piso de concreto o mosaico y solo el 5 % es de tierra. Por último, la actividad pesquera es su principal fuente de ingreso familiar y proviene de la venta de su producto, obteniendo utilidades mensuales que varían de entre \$1 725.00 a un

máximo de \$10 000.00 MXN en temporada alta, con un ingreso mensual promedio de \$1 725.00 MXN (figura 2).

### CARACTERIZACIÓN DE LA PESQUERÍA

La ciudad de Tamiahua está localizada en la boca sur de su laguna y allí laboran cuatro sociedades cooperativas, y 18 permisionarios o bodegueros; de éstos, siete permisionarios y dos cooperativas tienen permiso para capturar cazón y escama, el resto para escama en la laguna o el mar. El número de personas que laboran en el mar son 300. La flota pesquera es de tipo menor con 75 lanchas de fibra de vidrio de una eslora de 7.5 m a 8.9 m, y con motor fuera de borda Honda y Yamaha de distintas capacidades (40, 60, 75, 80 y 90 HP). En general, tienen una capacidad de carga de 1.5 a 2 t. La tripulación es de tres a cuatro personas y utilizan en promedio 100 L de gasolina (preparada con aditivos), por lo que invierten de 8 a 12 h y el producto capturado lo conservan con una o media barra de hielo triturado.

La carnada que utilizan la obtienen de dos fuentes: 1) del mar, como en el caso del chile (*Hemiramphus brasiliensis*), peces aguja (*Strongilura notata*, *S. marina*) y morenas (*Gymnothorax* sp.) capturadas cerca del SALT; o 2) comprada por descuento a los permisionarios, pescaderías y cooperativas los cuales proporcionan dos sacos (arpillas) de 30 kg de

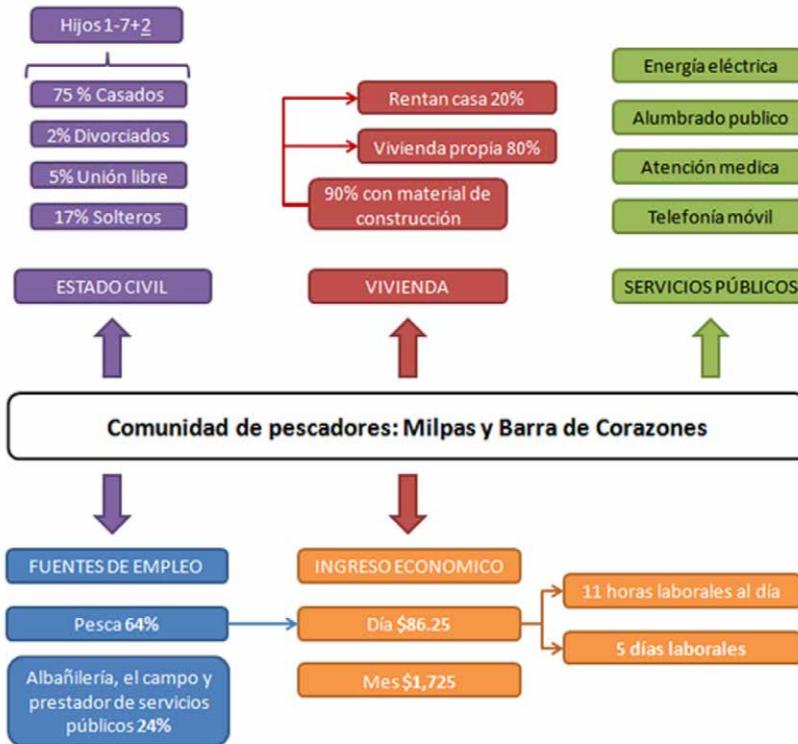


Figura 2. Atributos de la población pesquera de las comunidades Milpas y Barra de Corazones, Tamiahua, Veracruz.

lebrancha (*M. curema*) así como peces de la familia Scianidae capturados en la laguna de Tamiahua, o de calamares provenientes de la Ciudad de México.

Como artes de pesca se suelen usar redes de enmalle, cimbra o palangre y ocasionalmente el arpón. El primer arte se utiliza para capturar carnada (e.g. chile, pez aguja) y peto (*S. cavalla*). Para utilizarla, la tripulación localiza un cardumen y posteriormente colocan la red, a continuación, comienzan a conducir la lancha de manera caótica acompañado de ruidos para llevar los peces a la red (suele usarse en el barlovento de los arrecifes).

La cimbra o palangre es el arte más usado y consiste de una línea con flotadores fijada

con grampines que varía en longitud (2000 y 3000 m), y de la cual penden varios hilos de poliamida polietileno, polipropileno o cables (reinal), de distintas longitudes, que trabajan fijas a fondo con anzuelos encarnados montados equidistantes (5 m) a lo largo de la línea; el número, tipo de anzuelos y reinales son variables (500 anzuelos en promedio por palangre). Las principales especies a las que se dirige este arte de pesca son ocho; para el tiburón se usan anzuelos del número cuatro y 15, para la raya el número 10 garra de águila, para el peto el tres noruego y el ocho garra de águila para otras especies (huachinango, aba-dejo, sierra, cherna, negrilla).

Por último, a pesar de su uso penalizado, se registró el uso de arpón, el cual suele emplearse para rematar a los tiburones y realizar captura de escama (*e.g. Balistes capriscus, B. vetula*), pulpo (*Octopus vulgaris*) y langosta (*Panulirus argus*). El gancho suele usarse como herramienta para subir los organismos a la embarcación insertándolo cerca del opérculo; esta arte es selectiva hacia tallas grandes.

### COSTOS POR VIAJE Y CANALES DE MERCADO

En promedio por cada viaje de pesca se invierten \$1 920.00 MXN, por lo que el precio anual de la flota pesquera es de \$28 800 millones de pesos, siendo la gasolina el costo más fuerte (tabla 1). El volumen de comercialización local y nacional fluctúa dependiendo la temporada, por ejemplo, cuaresma. En el mercado local los gastos de transporte corren por cuenta de los intermediarios (tabla 2); asimismo las distintas especies son adquiridas al mayoreo por cadenas de tiendas comerciales (*e.g. Chedrahui*), y principalmente por los mercados municipales de Tuxpan y Poza Rica (venta de escama, ostión, camarón y ca-

zón). Los volúmenes y organismos de mayor tamaño son transportados a distintos estados principalmente al mercado de la Viga, en la Ciudad de México. Los gastos que se originan por concepto de transporte son variables y generalmente el producto de dos permisionarios es transportado en la misma camioneta frigorífica (reducción del costo de transporte); dentro de este gasto se incluye el alimento y salario del conductor, así como las casetas y el combustible. En promedio, se envía producto ocho veces al mes para el mercado de la Viga y cuatro a los de Tampico, Puebla y Veracruz, por lo que el costo mensual asciende a \$30 400.00 MXN. Los costes generados por el transporte del producto al mercado nacional son el segundo insumo de mayor importancia para la pesquería de Tamiahua dado que los permisionarios y cooperativistas gastan cerca de \$3 444 millones de pesos anuales.

### RELACIÓN COSTE-BENEFICIO

Durante el 2008 las 471 634 t capturadas de escama y pesca incidental (*e.g. tiburón, raya*) generaron \$10 736 574.00 MXN en valor comercial. Si a ello se le descuentan los costos

**Tabla 1.** Costos por viaje. Los campos marcados con \* no fueron tomados en cuenta para obtener el costo total.

Costos variables	Precio unitario	Unidades por viaje	Costo por viaje
Carnada: pescado	\$6.00 kg	60 kg	\$360.00
Carnada: calamar	\$20.00 kg	15kg	\$600.00
Hielo barra	\$120.00	1/2	\$60.00
Gasolina	\$7.80 l	100 l	*\$780.00
Lubricante	\$50.00	2 1/2	*\$120.00
Gasolina preparada	\$9.00 l	100	\$900.00
<b>Costo por viaje</b>			<b>\$1 920.00</b>
<b>Costo por viaje anual de la flota pesquera</b>			<b>\$28 800 000.00</b>

**Tabla 2.** Gastos por viaje en pesos mexicanos para los distintos canales de comercialización de los productos pesqueros de Tamiahua. T: tiburón; P.T.: pescados de temporada; C: cazones.

Destino	Producto	Costo	
		Transporte mensual	Transporte anual
Mercado la Viga, CDMX.	T. y P.T.	\$12 800.00	\$128 000.00
Tampico, Tamps.	P.T.	\$8 800.00	\$88 000.00
Puebla, Pue.	P.T.	\$4 000.00	\$40 000.00
Veracruz puerto	P.T.	\$4 800.00	\$48 000.00
Costo total por permisionario		\$30 400.00	\$304 000.00
<b>Costo total anual mercado nacional</b>			\$3 344 000.00
Chedraui, Tuxpan, Ver.	C. y P.T.	\$200.00	\$2 000.00
Mercado municipal, Tuxpan	P.T.	\$200.00	\$2 000.00
Poza Rica, Ver.	P.T.	\$1 200.00	\$12 000.00
<b>Costo total anual mercado local</b>		\$1 600.00	\$48 000.00

anuales por concepto de ingreso de los pescadores y costos por transporte del producto, con un beneficio neto de \$1 340 047.00 MXN de la pesquería. Lo anterior, conlleva a un beneficio de \$60 911.00 MXN para cada una de las cooperativas y permisionarios durante ese año.

### ANÁLISIS DE LA CAPTURA

Durante el 2008, las especies de escama marina contribuyeron en mayor proporción (85 %) al volumen de captura con respecto a los elasmobranquios (15 %); sin embargo, de las 51 especies registradas (Anexo 1) la raya (*Dasyatis americana*) fue la especie de mayor volumen de captura seguida del bagre (*Bagre marinus*), el huachinango (*Lutjanus campechanus*), el jurel (*C. hipos*) y el peto (*S. cavalla*), así como el resto de las especies que se muestran en la figura 3. Estas mismas especies aportan grandes beneficios económicos.

Los volúmenes de captura sugieren una distribución temporal de los organismos (figura 4a). El grupo uno conformado por los meses

de septiembre a enero corresponden a organismos con mayor volumen de captura durante la temporada de nortes e invernal (e.g. peces cartilaginosos, medregal, lebrancha, jurel, huachinango). Por su parte, el grupo dos se caracteriza por especies cuya pesca disminuye y algunas presentan alto volumen de captura (e.g. peto, bonito) (figura 4b). En general durante la temporada de nortes e invernal los volúmenes de captura se duplican (317 483 t) en relación al grupo dos (154 151 t).

Por otra parte, y aun nivel más fino, el jurel de castilla (*Caranx latus*), la guabina (*Cynoscion* sp.) y el chucumite (*Centropomus parallelus*) aportaron el mayor volumen de captura y beneficio económico durante el mes de agosto (\$158 502.00 MXN). Otras especies se caracterizan por presentar bajos niveles de captura durante la mayor parte del año (e.g. cubera, pargo rojo, mulato y abadejo), a pesar de ello, proporcionan beneficios monetarios relativamente altos (durante febrero y agosto).

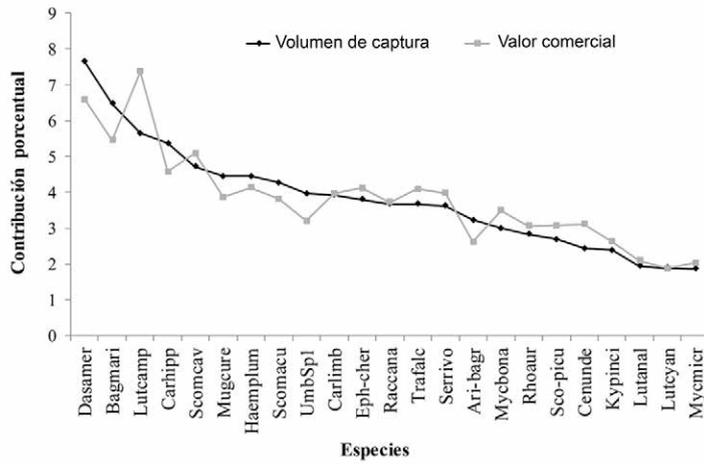


Figura 3. Especies de peces de mayor importancia (volumen de captura y valor comercial) durante el 2008. Las claves de las especies y grupos tróficos se encuentran en el Anexo 1.

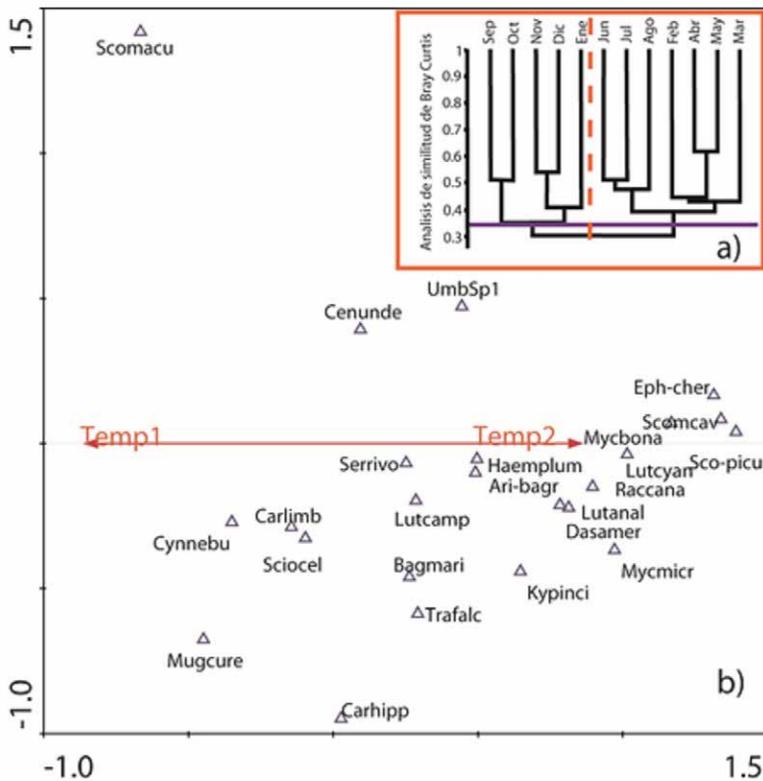


Figura 4. Distribución temporal de los volúmenes de captura durante el 2008 a un corte del 35 % (Coeficiente de correlación cofenético 0.8); b) Distribución temporal de las especies de mayor importancia ( $F_{(12,51)}=2.789$ ;  $p=0.0009$ ; 1er eje 100% varianza total). Temp1: abarca los meses de septiembre-enero; Temp2: comprende febrero-agosto. Las claves de las especies y grupos tróficos se encuentran en el Anexo 1.

Por otro lado, la lebrancha (*M. curema*), la sierra (*S. maculatus*) y el huachinango (*L. campechanus*) presentan gran volumen de captura y rentabilidad durante casi todo el año (en especial durante septiembre-enero); los precios por kilogramo de estos organismos van desde \$12.37 pesos (*e.g.* lebrancha) hasta \$67.92 pesos (*e.g.* huachinango). Por

último, el tiburón chato (*Carcharhinus leucas*) y la chopo (*Kyphosus incisor*) presentan alto volumen de captura durante febrero y octubre. En cada temporada mencionada se encuentran especies tanto de alto y bajo valor comercial, las cuales sostienen la economía de los pescadores y sectores asociados.

## DISCUSIÓN

La comprensión de los componentes que integran la actividad pesquera dentro del Corredor Arrecifal del Suroeste de Golfo de México es de vital importancia, ya que por medio de ella se pueden fundamentar las bases de su buen manejo. En este sentido los resultados aquí presentes tienen la finalidad de sentar dicho precedente al ser el primero en su tipo para la región norte de dicho corredor.

La actividad pesquera como primera fuente de empleo en las comunidades Milpas y Barra de Corazones puede responder a varios factores del contexto, por ejemplo, a la tradición pesquera, la poca diversificación de empleos y los bajos niveles educativos. En cuanto a la tradición pesquera, se ha establecido que los conocimientos son pasados a través de generaciones, y familias enteras que son parte de la actividad; en las familias de los pescadores cada miembro tiene un rol, y dado que el trabajo es familiar, los niños se crían en torno a la pesca y así se va formando la identidad de pescador por generaciones (Glaría, 2010).

La poca disponibilidad de empleos en zonas costeras, es otro de los factores que permiten tomar esta actividad como primordial. No solo es la primer fuente económica, sino es de las actividades más importantes por su volu-

men de producción orientada hacia el mercado interior (Rivera-Arriaga *et al.*, 2004).

Por otra parte, los bajos costos de inversión, reducido gasto de operación, requerimientos técnico muy reducidos, así como un sistema de vigilancia muy elástico y por momentos prácticamente inexistente, aunado a un contexto local con falta de desarrollo económico de la región pueden ser otros motivos por los que determine la entrada a la pesca como algo más viable que acceder a otro tipo de empleos (Rivera-Arriaga *et al.*, 2004).

En cuanto a los bajos niveles educativos, Ibáñez y Campos (1991) señalan que en la localidad de Tampamachoco en Tuxpán, Veracruz los índices de analfabetismo son altos, lo cual es similar a lo encontrado y a lo descrito por Béné (2006) para las comunidades costeras que practican la pesca de pequeña escala.

En otro orden de cosas, el ingreso económico parece definir el estilo de vida y el número de integrantes por familia, y dado que los pescadores de Tampamachoco tienen un mayor ingreso semanal (Ibáñez y Campos, 1991) sus familias son más numerosas que en Tamiahua. A pesar de ello el nivel de vida para el periodo de estudio se considera adecuado, ya que la mayor parte de la población cuenta

con casa propia y servicios públicos, lo cual es similar a lo reportado por Ricaño-Soriano (2010) para la misma zona.

La pesquería de escama marina de Tamiahua concuerda con la descripción de las pesquerías artesanales realizada por Jiménez *et al.* (2006) en el puerto de Veracruz y por Hernández *et al.* (2008) en banco Chinchorro, Q. Roo, donde se captura una gran diversidad de especies de hábitos alimenticios similares.

Las principales zonas estratégicas para la pesca en Tamiahua son los arrecifes coralinos y las plataformas petroleras, el primero es considerado como una de las principales áreas de producción pesquera (Vargas-Hernández *et al.*, 2002; Jiménez *et al.*, 2006; Salas *et al.*, 2006; Mexicano-Cintora *et al.*, 2007; Hernández *et al.*, 2008). Ambos ambientes proveen refugio y áreas de alimentación a una gran diversidad de especies de interés comercial como jureles (*e.g. Caranx hippos*, *C. latus*), barracudas (*e.g. Sphyræna barracuda*), atunes (*e.g. T. albacares*), pargos (*e.g. L. griseus*), entre otros, los cuales tienden a formar agregaciones.

La población asociada a la pesca se estimó cerca de 300 personas, pero el número podría estar sesgado dado que existen pescadores libres; con respecto a esto Muñoz-Sánchez y Cruz-Burguete (2013) establecen que en los censos económicos debería de incluirse aproximadamente un 30% de pescadores al número de pescadores en el país, pues no se considera a los pescadores libres, mujeres, jóvenes e inmigrantes que son partícipes de la actividad. A través del estudio y observaciones en campo se estableció que otro grupo que no es considerado en los censos de pescadores son las personas que podemos llamar “agremiados”, los cuales son personas que trabajan de

cierta manera en las cooperativas, pero que no poseen embarcación y que trabajan mediante el préstamo de la misma; sin embargo, éstos suelen cambiar de cooperativa debido a que venden su producto al mejor postor.

Otro factor de sesgo en las estadísticas de pescadores son la falta de diferenciación entre los pescadores lagunares y marinos. En este tenor, la FAO (2005) estimó que la población pesquera ribereña de Tamiahua se componía de 4 562 pescadores registrados; sin embargo, no describe la proporción de pescadores lagunares y marinos.

En relación con las artes de pesca, éstas varían dentro de cada región y grupo de pescadores, en general para Tamiahua se usan redes de enmalle, el palangre y el arpón lo cual es similar a los usados en el puerto de Veracruz (Jiménez *et al.*, 2006). El 65% de los pescadores de la laguna de Tampamachoco trabajan con más de un tipo de arte en cada jornada, usando tendales que van de 200 m a más de 5 km de longitud, así como atarrayas, palangres y cordel con anzuelo (Ibáñez y Campos, 1991). Las redes de enmalle y palangre se usan para pesca de escama y tiburón, mientras que el arpón al ser más selectivo (Vargas-Hernández *et al.*, 2002) va dirigido para la captura peces de mayores tallas, así como para la captura langosta y pulpo.

Por otra parte, el costo de insumos por viaje de pesca para los pescadores del puerto de Veracruz establecido por Jiménez y Gaspar (2007) es mucho menor (\$604.00 MXN) que para los de Tamiahua (\$1 920.00 MXN). Los menores insumos se pueden deber a la cercanía de las zonas de pesca arrecifales como isla Pájaros (3.10 km) con el puerto jarocho, lo cual contrasta con la lejanía de la isla de Lobos con el municipio de Tamiahua (32.38 km).

En relación a los canales de comercialización, éstos, concuerdan con lo reportado por Ibáñez y Campos (1991) y Quiroga *et al.* (2002), el mayor volumen de captura se destina a entidades sin litoral como la Ciudad de México y Puebla, siendo la excepción Tampico; mientras que un menor volumen se dirige a mercados locales como Poza Rica y Tuxpan.

En el comercio del producto pesquero, la venta realizada a través de seis bodegas en Antón Lizardo, Boca del Río y un mercado de Veracruz generaron \$27 864 000.00 MXN (Jiménez y Gaspar, 2007), lo cual es mayor a lo establecido para la pesca marina de Tamiahua durante el 2008 (\$10 736 574.00 MXN); además, las altas utilidades del puerto de Veracruz están dadas por invertebrados de alto valor comercial (*e.g.* langosta, pulpo). En cuanto a estos montos no es de extrañar que, pese a que no son elevados y que en cierta medida benefician a los integrantes de las diversas organizaciones, el beneficio es el monto mínimo en comparación con los beneficios que obtienen los acaparadores locales, o incluso estatales; Alcalá (2002) establece que no es necesario conocer con todo detalle los mecanismos regionales y locales de que se valen los armadores o permisionarios, ni el monto exacto de las ganancias que obtienen los acaparadores particulares, o estatales, para saber que los productores primarios (pescadores) son los escasos beneficiarios de la actividad pesquera a nivel nacional.

Dentro de los peces marinos con mayor volumen de captura de 1980 a 1987 para el estado de Veracruz, Ibáñez y Campos (1991) establecen a la lisa, la sierra y el tiburón, mientras que para el puerto veracruzano Jiménez y Gaspar (2007) en sus análisis de 1990 al 2002 establecen al peto, el medregal, la mojarra y la

sardina. Algunas de las cuales coinciden con el presente estudio (*e.g.* la lisa, el peto y la sierra), empero, el análisis de similitud porcentual (SIMPER) al considerar los volúmenes y frecuencia de captura, establece que las especies más importantes durante el 2008 fueron en orden de importancia: la raya (*D. americana*), el bagre bandera (*Bagre marinus*), el guachinango (*L. campechanus*) y jurel (*C. hippos*), entre otras.

El clúster realizado a los volúmenes de captura revela una tendencia de distribución temporal de los organismos, la cual se esclarece en el CCA (realizado con las especies más importantes obtenidas mediante el SIMPER). Las especies objetivo se agrupan en función de la temporada de nortes-invernal y durante el resto de los meses. En ambos agrupamientos se observan especies con grandes volúmenes de captura y altos valores comerciales ya sea durante toda la temporada o durante algunos meses. Jiménez y Gaspar (2007) mencionan que los pescadores de Veracruz y Boca del Río durante la temporada de nortes (septiembre-enero) suelen aumentar el esfuerzo pesquero y obtienen grandes beneficios económicos (les ayuda a pasar el año). Tendencia que no se ha establecido durante la presente investigación debido a que los datos obtenidos de la oficina de pesca fueron mensuales y no diarios; sin embargo, podrían ser similares debido a los altos volúmenes de captura de escómbridos, mugílidos, carángidos y pargos. Los beneficios económicos de la pesquería de escama marina se deben a especies de poco valor comercial y altos volúmenes de captura, así como a especies de bajo volumen de captura y alto valor comercial, lo cual permite la rentabilidad y subsistencia de la flota pesquera ribereña de Tamiahua, Veracruz.

## CONSIDERACIONES FINALES

Es necesario seguir estudiando la pesca, pescadores y comunidades costeras asociadas al CASGM, a fin de contar con un panorama real de las posibles vetas a explotar para el buen manejo de los recursos del corredor; ya que se está en un ciclo, donde la dependencia a estos recursos hace particularmente vulnerable a la actividad y las comunidades ante el ago-

tamiento de los recursos marinos. Asimismo, los mecanismos y aspectos sociales cambian en el tiempo por lo que es importante realizar estudios subsecuentes sobre el papel social de las comunidades pesqueras en esta importante actividad económica y los rangos de variación con el resto de las comunidades pesqueras del CASGM.

## LITERATURA CITADA

- Alcalá, M.G., 2002. La ayuda mutua en las comunidades de pescadores artesanales de México. En Actas del IX Congreso de Antropología de la Federación de Asociaciones de Antropología del Estado Español, Barcelona. Disponible en [http://www.ub.edu/reciprocitat/GER\\_WEB\\_CAS/Actividades/Actividades%20Simposio%202002/Ponencia-Alcala.pdf](http://www.ub.edu/reciprocitat/GER_WEB_CAS/Actividades/Actividades%20Simposio%202002/Ponencia-Alcala.pdf)
- Béné, C., 2006. *Small-scale fisheries: assessing their contribution to rural livelihoods in developing countries*. FAO Fisheries Circular No. 1008, Rome. 46 pp.
- Clarke, R. & N. Gorley, 2006. *PRIMER v6: user manual/tutorial*. PRIMER-E Ltd, Plymouth, England. 191 pp.
- Cruz-Jiménez, M., 2013. Peces de interés pesquero asociados a los arrecifes coralinos del norte de Veracruz. *Tesis Licenciatura, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz*. 96 pp.
- FAO, 2002a. *The living marine resources of the Western Central Atlantic. Volume 2: Bony fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae)*. FAO, Roma. 601-1374 pp.
- FAO, 2002b. *The living marine resources of the Western Central Atlantic. Vol. 3: Bony fishes part 2 (Opistognathidae to Molidae), sea turtles and marine mammals*. FAO, Roma. 1375-2127 pp.
- FAO, 2005. *Presente y futuro de los mercados de pescado y productos pesqueros de la pesca a pequeña escala: enfocado especialmente en los casos de México, Perú y Brasil*. INFOPESCA-FAO. 36 pp.
- Frose, R. & D. Pauly. 2018. *Fish base. World Wide Web electronic publication*. Disponible en <http://www.fishbase.org>
- Garcés-García, K., 2010. Edad y crecimiento del tiburón *Rhizoprionodon terranovae* (Richardson, 1936) (Cazón de ley) capturado en la zona costera de Tamiahua, Veracruz. *Tesis Licenciatura, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz*. 53 pp.
- García-Álvarez, A.M., 2010. Diversidad biológica de tiburones de importancia comercial capturados en las pesquerías de la localidad de Tamiahua, Veracruz. *Tesis Licenciatura, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz*. 85 pp.
- Glaría, V., 2010. Sujetos colectivos en búsqueda de sustentabilidad pesquera: relatos de los miembros de una comunidad de pescadores artesanales, V región, Chile. *Revista de la Universidad Bolivariana*, 9(27):109-127.
- González-Gándara, C., 2011. La zona marina. pp. 289-296. En: A.A. Cruz (ed.). *La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado. Vol. I: Contexto actual del estado y perspectivas de conservación de su biodiversidad*. CONABIO, Gob.

- del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A. C, México. 541 pp.
- Hammer, Ø., D.A.T. Harper & P.D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4(1):1-9.
- Hernández, A., F.A. Rodríguez-Zaragoza, M.C. García, J.M. Castro & J. Medina-Flores, 2008. *El manejo sostenible de los Recursos pesqueros de la Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro*. WWF-México. 44 pp.
- Ibáñez, A.L. & V.R. Campos, 1991. Análisis de las pesquerías en Veracruz de 1981 a 1988. *Hidrobiológica*, 1(1):36-48.
- Jiménez-Badillo, M.L., H. Pérez-España, J.M. Vargas-Hernández, C. Cortés & P.A. Flores, 2006. *Catálogo de especies y artes de pesca del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano*. CONABIO, Xalapa, Veracruz, México. 182 pp.
- Jiménez-Badillo, M.L. & L.G. Castro-Gaspar, 2007. Pesca artesanal en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. pp. 221-240. En: Granados-Barba, A., L.G. Abarca-Arenas & J.M. Vargas-Hernández (eds). *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche, México. 304 pp.
- Lango-Reynoso, F. & R. Castañeda-Chávez, 2011. La biodiversidad pesquera y acuícola: su preservación a través de sistemas de calidad. pp. 517-528. En: A. Cruz (ed). *La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado. Vol. I: Contexto actual del estado y perspectivas de conservación de su biodiversidad*. CONABIO, Gob. del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, INECOL, A.C. México. 541 pp.
- Lara-Domínguez, A.L., J. Franco, C. Bedia, L.G. Abarca-Arenas, S. Díaz, A. Aguirre, C. González-Gándara & M. Castillo-Rivera, 2011. Diversidad de peces en los ambientes costeros y plataforma continental. pp. 505-516. En: A. Cruz (ed.). *La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado. Vol. II: Diversidad de especies: conocimiento actual*. CONABIO, Gob. del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, INECOL, A.C. México. 679 pp.
- Martínez-Esponda, F.C., 2017. El gran Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, preso entre el desconocimiento y el discurso del desarrollo. *El Jarocho Cuántico al son de la ciencia*. Núm. Esp.72:2.
- Mexicano-Cíntora, G., C.O. Leonce-Valencia, S. Salas & M.E. Vega-Cendejas, 2007. *Recursos pesqueros de Yucatán: fichas técnicas y referencias bibliográficas*. Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, Yucatán, México. 40 pp.
- Muñoz-Sánchez, P. & J.L. Cruz-Burguete, 2013. Identidades y tendencias migratorias desde la pesca en Chiapas y Tabasco. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, 63:231-257.
- Nelson, J., 2006. *Fishes of the world*. 4rd Edition. John Wiley y Sons (eds.). New York. 624 pp.
- Ortiz-Lozano, L.D., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A.L. Gutiérrez-Velázquez & J. Martos, 2013. The reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: challenges and conservation. *Ocean y Coastal Management*, 86:22-32.
- Quiroga, C., A. Valdéz, I. Hernández, M. García & P. Guzmán, 2002. Peces ribereños. pp. 155-175. En: P. Guzmán, C. Quiroga, C. Díaz, D. Puentes, M. Contreras & S. López (eds). *La Pesca en Veracruz y sus Perspectivas de Manejo*. INP. SAGARPA, Universidad Veracruzana, Xalapa, México. 434 pp.
- Ricaño-Soriano, M., 2010. Aspectos socioeconómicos y pesqueros de la captura de tiburón en el municipio de Tamiahua, Veracruz. *Tesis Licenciatura, Universidad Veracruzana*, Tuxpan, Veracruz. 177 pp.
- Rivera-Arriaga, E., J. Villalobos-Zapata, I. Azuz-Adeath & F. Rosado-May, 2004. *El Manejo Costero en México*. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México. 654 pp.

- Salas, S., G. Mexicano-Cíntora & M.A. Cabrera, 2006. ¿Hacia dónde van las *pesquerías en Yucatán?*: tendencias, retos y perspectivas. Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida, Mérida, México. 97 pp.
- Ter Braak, C.J.F., P. Smilauer, 2002. *CANOCO reference manual and CanoDraw for windows user's guide: software for canonical community ordination [version 4.5]*. Ithaca, New York, USA. Disponible en [www.canoco.com](http://www.canoco.com)
- Vargas-Hernández, J.M., G. Nava-Martínez & M.A. Román-Vives, 2002. El Sistema Arrecifal Veracruzano y las pesquerías asociadas. pp. 17-29. En: A.P. Guzmán, C. Quiroga, L.C. Díaz, C.D. Puentes, C.M. Contreras & G.S. López (eds.). *La pesca en Veracruz y sus perspectivas de Manejo*. INP. SAGARPA, Universidad Veracruzana, Xalapa, México. 434 pp.

**Anexo 1.** Especies marinas de importancia comercial en las costas del norte de Veracruz

<b>Especie</b>	<b>Clave</b>	<b>Nombre común</b>
<b>Familia Ginglymostomatidae</b>		
<i>Ginglymostoma cirratum</i> (Bonaterre, 1788)	Gincirra	Tiburón gata
<b>Familia Carcharhinidae</b>		
<i>Carcharhinus leucas</i> (Müeller y Henle, 1839)	Carleuc	Tiburón chato, toro
<i>Carcharhinus brevipinna</i> (Müeller y Henle, 1839)	Carbrev	Tiburón aleta negra
<i>Carcharhinus limbatus</i> (Müeller y Henle, 1839)	Carlimb	Puntas negras, Cazón
<i>Carcharhinus plumbeus</i> (Nardo, 1827)	Carplum	Aleta de cartón
<i>Galeocerdo cuvier</i> (Péron y Lesueur, 1822)	Galcuvi	Tiburón tigre
<i>Negaprion brevirostris</i> (Poey, 1868)	Negbrev	Tiburón limón
<i>Prionace glauca</i> (Linnaeus, 1758)	Priglau	Tiburón azul, tintorera
<i>Rhizoprionodon terraenovae</i> (Richardson, 1836)	Rhiterr	Tripa, caña hueca
<b>Familia Lamnidae</b>		
<i>Isurus oxyrinchus</i> Rafinesque, 1810	Isuoxyr	Alecrin, marrajo
<b>Familia Sphyrnidae</b>		
<i>Sphyrna lewini</i> (Griffith y Smith, 1834)	Sphlewi	Cornuda, martillo
<b>Familia Dasyatidae</b>		
<i>Dasyatis americana</i> Hildebrand y Schroeder, 1928	Dasamer	Raya
<b>Familia Ariidae</b>		
<i>Arius</i> sp.	AriSp	Bagre
<i>Bagre marinus</i> (Mitchill, 1815)	Bagmari	Bandera
<b>Familia Ophidiidae</b>		
<i>Brotula barbata</i> (Bloch y Schneider, 1801)	Brobarb	Lengua
<b>Familia Mugilidae</b>		
<i>Mugil curema</i> Valenciennes, 1836	Mugcure	Lebrancha
<b>Familia Centropomidae</b>		
<i>Centropomus undecimalis</i> (Bloch, 1792)	Cenunde	Robalo de Mar
<i>Centropomus parallelus</i> Poey, 1869	Cenpara	Chucumite de Mar
<b>Familia Serranidae</b>		
<i>Epinephelus itajara</i> (Lichtenstein, 1822)	Epiitja	Mero
<i>Epinephelus</i> sp.	EpiSp	Cherna
<i>Mycteroperca bonaci</i> (Poey, 1860)	Mycbonaci	Negrillo
<i>Mycteroperca microlepis</i> (Goode y Bean, 1879)	Mycmicr	Abadejo
<b>Familia Rachinocentridae</b>		
<i>Rachycentron canadum</i> (Linnaeus, 1766)	Raccana	Bacalao
<b>Familia Carangidae</b>		
<i>Caranx crysos</i> (Mitchill, 1815)	Carcrys	Cojinuda
<i>Caranx hippos</i> (Linnaeus, 1766)	Carhipp	Jurel

<b>Anexo I. Especies marinas de importancia comercial en las costas del norte de Veracruz</b>		
<b>Especie</b>	<b>Clave</b>	<b>Nombre común</b>
<i>Caranx latus</i> Agassiz, 1831	Carlatu	Jurel de Cast
<i>Seriola rivoliana</i> Valenciennes, 1833	Serrivo	Medregal
<i>Trachinotus falcatus</i> (Linnaeus, 1758)	Trafalc	Pámpano
<i>Trachinotus goodei</i> (Jordan y Evermann, 1896)	Tragood	Palometa
<b>Familia Lutjanidae</b>		
<i>Lutjanus analis</i> (Cuvier, 1828)	Lutanal	Pargo rojo
<i>Lutjanus campechanus</i> (Poey, 1860)	Lutcamp	Huachinango
<i>Lutjanus cyanopterus</i> (Cuvier, 1828)	Lutcyan	Cubera
<i>Lutjanus griseus</i> (Linnaeus, 1758)	Lutgris	Pargo mulato
<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758)	Lutsyna	Villajaiba
<i>Ocyurus crysurus</i> (Bloch, 1791)	Ocycrys	Rabirrubia
<b>Familia Haemulidae</b>		
<i>Haemulon plumieri</i> (Lacepède, 1801)	Haeplum	Boquilla
<b>Familia Sparidae</b>		
<i>Calamus calamus</i> (Valenciennes, 1830)	Calcala	Pluma
<i>Rhomboplites aurorubens</i> (Cuvier, 1829)	Rhoauri	Besugo
<b>Familia Scianidae</b>		
<i>Cynoscion nebulosus</i> (Cuvier, 1830)	Cynnebu	Trucha Pinta
<i>Cynoscion</i> sp.	CynSp	Guabina
<i>Sciaenops ocellatus</i> (Linnaeus, 1766)	Sciocel	Corvina
<i>Micropogonias undulatus</i> (Linnaeus, 1766)	Micund	Gurrubata
<i>Menticirrhus americanus</i> (Linnaeus, 1758)	Menamer	Rastrero
<i>Menticirrhus littoralis</i> (Holbrook, 1847)	Menlitt	Ratón
<i>Menticirrhus saxatilis</i> (Bloch y Schneider, 1801)	Mensaxa	Rastreador
<i>Umbrina</i> sp.1	UmbSp1	Ronco amarillo
<i>Umbrina</i> sp.2	UmbSp2	Flander
<b>Familia Khyposidae</b>		
<i>Kyphosus incisor</i> (Cuvier, 1831)	Kypinci	Chopa
<b>Familia Sphiraenidae</b>		
<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards, 1771)	Sphbarr	Barracuda
<i>Sphyraena guachancho</i> (Cuvier, 1829)	Sphguac	Tolete
<b>Familia Scombridae</b>		
<i>Euthynnus alletteratus</i> (Rafinesque, 1810)	Eutalle	Bonito
<i>Scomberomorus cavalla</i> (Cuvier, 1829)	Scocava	Peto
<i>Scomberomorus maculatus</i> (Mitchill, 1815)	Scomacu	Sierra
<i>Scomberomorus</i> sp.	ScoSp	Picuda



Ramírez-García P., K. Pedraza-Venegas y A. Granados-Barba, 2019. Los Pastos Marinos y la Captura de Carbono Azul una Razón para Estudiarlos en el CASGM, p. 281-300. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

## Los Pastos Marinos y la Captura de Carbono Azul una Razón para Estudiarlos en el CASGM

*Pedro Ramírez-García<sup>1\*</sup>, Karla Pedraza-Venegas<sup>2</sup>  
y Alejandro Granados-Barba<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Instituto de Biología, Departamento de Botánica, UNAM

<sup>2</sup>Programa de Investigación en Botánica Marina, UABC

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

\*armora@unam.mx

### RESUMEN

En este capítulo se realiza considerando que actualmente los sistemas de pastos marinos están en riesgo de perderse debido a su deterioro global producto del crecimiento antrópico. Se destaca el papel que las praderas de pastos marinos representan en la ecología de las zonas costeras en general. Se evidencia la necesidad de estudiarlos en los sistemas arrecifales del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) donde su conocimiento es pobre, a pesar de los servicios ecosistémicos que brindan en términos del secuestro de carbono azul. Se presenta una revisión de los estudios sobre la cuantificación de la cobertura vegetal de praderas de pastos marinos, en las costas del golfo de México, los métodos que se han usado y los alcances que esta información ha tenido para la estimación del carbono azul. También se revisan los estudios sobre la estimación de carbono orgánico ( $C_{org}$ ) y algunos de los métodos que se usan frecuentemente para su determinación. Para esta revisión primordialmente se recurrió a la literatura de amplia distribución nacional e internacional con énfasis en las costas mexicanas del golfo de México, pero también, considerando estudios realizados sobre el tema en otros sitios del país.

**Palabras clave:** pastos marinos, Servicios Ecosistémicos, Golfo de México.

## ABSTRACT

This chapter is carried out considering that seagrass systems are currently at risk of being lost due to their global deterioration as a result of anthropogenic growth. The role that seagrass meadows play in the ecology of coastal areas in general is highlighted. It is necessary to study them in the coral reef systems of the Southwest Gulf of Mexico Reef Corridor of the (CASGM) where their knowledge is poor, despite the ecosystem services they provide in terms of blue carbon. A review of the studies about the quantification of the vegetation cover of seagrass meadows, on the coasts of the Gulf of Mexico, the methods that have been used and the scope that this information has had for the estimation of blue carbon is presented. It also presents a synthesis of the studies on the estimation of organic carbon (Corg) and some of the methods that are frequently used for its determination. For this review, the literature of wide national and international distribution was mainly used, with emphasis on the Mexican coasts of the Gulf of Mexico, but also, considering studies conducted on the subject in other parts of the country.

**Keywords:** Seagrass Meadows; Ecosystem Services; Gulf of México.

## INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros ofrecen servicios fundamentales para el bienestar humano como alimentación y protección, así como zonas de crianza (crecimiento, anidación, reproducción) para la biodiversidad global (Costanza *et al.*, 1997; Hemminga & Duarte, 2000); sin embargo, a pesar de su importancia, son sistemas constantemente afectados por la expansión del crecimiento antrópico en las costas (Ortiz-Lozano *et al.*, 2005; Muñoz-Sevilla *et al.*, 2019). Este es el caso de las praderas de pastos marinos cuyo deterioro ha alcanzado niveles críticos a nivel global (Orth *et al.*, 2006; Hughes *et al.*, 2009; Unsworth *et al.*, 2015) debido a las presión humana y al excesivo crecimiento de epífitas y algas de deriva (Waycott *et al.*, 2009; Maxwell *et al.*, 2016).

En efecto, las praderas de pastos marinos ofrecen diversos beneficios y servicios que contribuyen a la capacidad humana de mitigar y adaptarse a los impactos del cambio climático en zonas costeras (Costanza *et al.*, 1997; Howard *et al.*, 2014; Mtwana *et al.*, 2018; Unsworth *et al.*, 2018). Los pastos o

fanerógamas marinas (Helobiales), son un grupo de plantas con flores que viven totalmente sumergidas en la zona intermareal y submareal de las costas de casi todo el mundo (Den-Hartog, 1970; Short *et al.*, 2007). Son productores primarios que generan y exportan materia orgánica, y diversos animales marinos dependen directa o indirectamente de éstos ecosistemas (Duarte & Chiscano, 1999; Hemminga & Duarte, 2000; Larkum *et al.*, 2006).

Los pastos marinos en México habitan en estuarios, marismas, lagunas costeras y en zonas de someras de las plataformas continentales, o en los bajos arrecifales, a sotavento regularmente. Gustan de aguas transparentes en sustratos de arena fina o gruesa (*Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme*, *Halodule* spp.), en arcilla y limos (*Halophila* spp., *Zostera marina*) y algunas en sustratos rocosos (*Phyllospadix* spp.). En el golfo de México y Caribe constituyen asociaciones de especies como *Halodule wrightii*, *H. beaudetei*, *Halophila decipens*, *H. engelmannii* y *Syringodium*

*filiforme* (Lot, 1971, 1977; Lot *et al.*, 1993, 1999; Gallegos *et al.*, 1993; Onuf *et al.*, 2003; Ramírez-García *et al.*, 2007; Van Tussenbroek *et al.*, 2010). Algunas especies se distribuyen en zonas más profundas, entre los 15 a 50 m (Williams & Heck, 2001; Creed *et al.*, 2003; Short *et al.*, 2007).

Es importante destacar que uno de los servicios ecosistémicos que proporcionan las praderas de pastos marinos es la mitigación de los gases de efecto invernadero; sin embargo, este servicio se ha estado mermando con las afectaciones antrópicas. De acuerdo a Waycott *et al.* (2009) más de 51 000 km<sup>2</sup> de praderas de pastos marinos se han perdido en los últimos 127 años; es decir, estos ecosistemas se están degradando a una tasa superior del 7% desde 1990 (Duarte *et al.*, 2005; Waycott *et al.*, 2009). Al respecto, Pendleton *et al.* (2012) establece un intervalo entre 0.4 a 2.6 % de pérdida anual; en cualquier caso, los especialistas consideran que a este ritmo de deterioro en 50 años se tendrá un punto de quiebre para su recuperación. Esto importa porque en términos de emisiones de carbono, perder 1 ha de un ecosistema de carbono azul equivale a perder entre 10 y 40 ha de bosque nativo (Macreadie *et al.*, 2017).

En diferentes partes del mundo se han llevado a cabo estudios sobre el almacenamiento de carbono en tejidos de vegetación marina y en materia orgánica de los sedimentos marinos donde crecen, como son: manglares, marismas, mantos de macroalgas y praderas de pastos marinos que participan de forma importante como sumideros de carbono “Carbono Azul” (Smith, 1981; Duarte & Cebrián, 1996; Pendleton *et al.*, 2012). La importancia de trabajar con estos ecosistemas es debido a que, aunque representan menos del 2 % de la

cobertura a nivel global, son diez veces más efectivos para secuestrar dióxido de carbono (McLeod *et al.*, 2011) y casi el doble de efectivos para almacenar carbono (Murray *et al.*, 2011).

Se han hecho estimaciones globales calculando la superficie que pueden ocupar las praderas de pastos marinos en el mundo y, con ello, interpolando el posible almacenamiento de carbono en sus tejidos y en el sedimento donde crecen, y al cual aportan parte del carbono (denominado autóctono) aprovechado en su crecimiento, denominado carbono autóctono, y parte del carbono (alóctono) proveniente de otras fuentes que también es retenido en sus sedimentos (Green & Short, 2003; Duarte *et al.*, 2005; 2010; Kennedy *et al.*, 2010; Fourqurean *et al.*, 2012). Los pastos marinos contribuyen al 10 % de la producción primaria, y se estima que son responsables de 10 al 18 % de la captura de carbono en los sedimentos oceánicos que pueden alcanzar de 24.7 a 44 Tg C año<sup>-1</sup> (Duarte *et al.*, 2005; 2010; Kennedy *et al.*, 2010; Fourqurean *et al.*, 2012).

En efecto, las praderas de pastos marinos funcionan como sumideros de carbono a través de la fotosíntesis, dando como resultado biomasa vegetal en forma de hojas, vainas, rizomas y raíces la cual es almacenada en los sedimentos y puede permanecer secuestrado en ellos por décadas (Mateo *et al.*, 1997; Pergent *et al.*, 1994; Romero *et al.*, 1994). Algunas de estas estimaciones no contemplan la producción de microalgas epífitas, ni de macroalgas asociadas a la comunidad que podrían elevar los valores calculados de captura en el ecosistemas. El secuestro y almacenamiento de carbono es cuantioso en el material dentro del sedimento, el cual en algunos casos esta sub-

estimado por el tipo de muestreo, el tamaño de muestra y las técnicas de detección.

La reducción del secuestro de carbono, y otros servicios ecosistémicos que los pastos marinos ofrecen, ha sido provocada por el

cambio de uso de suelo que, además, ocasiona erosión, acreción, contaminación y emisiones de carbono a la atmósfera (Pendleton *et al.*, 2010; Lovelock *et al.*, 2019).

## PRADERAS DE PASTOS MARINOS EN LAS COSTAS MEXICANAS DEL GOLFO DE MÉXICO

En el golfo de México se han publicado diversos estudios sobre *Thalassia testudinum* y otras especies de pastos marinos asociados, en Veracruz (Lot, 1971; Jordán *et al.*, 1978; Lot *et al.*, 1993; Ramírez-García *et al.*, 2007; Terrados *et al.*, 2008; Terrados & Ramírez-García, 2011; Arellano-Méndez *et al.*, 2016), en laguna de Términos, Campeche (Moore & Wetzel, 1988; Hopkinson *et al.*, 1988; Kemp *et al.*, 1988; Stevenson *et al.*, 1988; De la Lanza & Rodríguez-Mediana, 1991; Raz-Guzmán & Sánchez, 1996; López-Herrera *et al.*, 2015), y en Yucatán (Herrera-Silveira *et al.*,

2009; Medina-Gómez *et al.*, 2016; Kantú-Manzano *et al.*, 2018). Importantes extensiones de pastos marinos en las costas mexicanas del golfo de México han sido escasamente colectadas y menos aún existen estudios comprensivos de ecología de comunidades o de poblaciones para evaluar su estatus actual. En el CASGM esto es una realidad, hacen falta estudios en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), aun más en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) y en el Sistema Arrecifal Los Tuxtlas son prácticamente desconocidos..

## COBERTURA DE PASTOS MARINOS EN LAS COSTAS MEXICANAS DEL GOLFO DE MÉXICO

No se tiene una estimación amplia de las coberturas de praderas de pastos marinos en México (CCA, 2016), aunque si existe una distribución definida de las especies que conforman estas praderas para el golfo de México y el Caribe mexicano (Lot *et al.*, 1999; Onuf *et al.*, 2003; Van Tussenbroek *et al.*, 2010). En algunos estudios se han hecho estimaciones generales de la cobertura; sin embargo, o falta especificar la metodología, no hay acceso a documentos de soporte, o bien, las estimaciones se limitan a ciertas profundidades debido

a las características de equipos y/o sensores utilizados para la detección.

Las primeras cifras sobre cobertura de pastos marinos para las aguas mexicanas del golfo de México aparecieron en Logan (1969) quién estimó 194 km<sup>2</sup> para el arrecife Alacranes y luego Iverson & Bittaker (1986) estimaron < 1000 km<sup>2</sup> para la península de Yucatán. Onuf *et al.* (2003) reportan coberturas para diferentes lagunas costeras: Para San Fernando, Tamaulipas 357.4 km<sup>2</sup> de *Halodule wrightii* que representa el 18 % de su superfi-

cie; para Tamiahua, Veracruz 106.2 km<sup>2</sup> de la misma especie (el 12 % de su superficie); para Alvarado 3.2 km<sup>2</sup> (el 3 %) de *Ruppia maritima*; para Términos, Campeche 496.4 km<sup>2</sup> (29 % de su superficie) de *T. testudinum*, *S. filiforme* y *H. wrightii*. En Tabasco reportan 8.1 km<sup>2</sup> de *H. wrightii* y *R. maritima*, y para la península de Yucatán estiman 5 911 km<sup>2</sup> de pastos marinos.

El geoportal de CONABIO presenta coberturas de pastos marinos medidas en algunos bajos arrecifales y playas del golfo de México, al norte y centro de Veracruz y en Yucatán. Para la zona norte de Veracruz en los arrecifes Tuxpan e Isla Lobos reportan una cobertura de 1.15 km<sup>2</sup>; para los arrecifes Gallega, Galleguilla, Verde y Sacrificios frente al Puerto de Veracruz reportan 0.77 km<sup>2</sup>, y para arrecife Enmedio frente a Antón Lizardo 1.48 km<sup>2</sup> (UAM-INECC, 2018). Asimismo, en este geoportal se obtuvieron los datos para las coberturas de pastos marinos en Campeche con 2,372.5 km<sup>2</sup> (UAM, INECC & CIGOM, 2018).

Otras evaluaciones han categorizado por clases los diferentes paisajes donde crecen los pastos marinos: en la costa de Yucatán, Palafox-Juárez & Liceaga-Correa (2017) estiman una cobertura de aproximadamente 2 048 km<sup>2</sup>. En el caribe mexicano Cerdeira-Estrada *et al.* (2012), con imágenes de satélite de alta resolución espacial (WorldView-2), demuestran la efectividad de las imágenes con una alta exactitud hasta los 12 m de profundidad generando mapas de cobertura con cinco clases espectrales de las diferentes comunidades y asociaciones de las praderas de pastos marinos. Rodríguez-Zúñiga *et al.* (2014) presentan las metodologías para conocer la línea base para monitoreo espacial de los ecosistemas de manglar y pastos marinos, en particular para

las praderas de pastos marinos en laguna arrecifal de Puerto Morelos, Q. Roo.

En términos comparativos, para otras regiones de México, como bahía San Quintín, Baja California, Ward *et al.* (2004), con videografía multispectral digital, estiman que las praderas de *Zostera marina* durante 1999 tenían una cobertura de 2 220 ha (22.2 km<sup>2</sup>), es decir un 46 % de la extensión superficial de la bahía, mientras que para *Ruppia maritima* la cobertura fue de 136 ha (3 %) (1.36 km<sup>2</sup>). Además, en Baja California Sur, López Calderón (2012) y López Calderón *et al.* (2013) mencionan que en bahía Concepción la cobertura del pasto marino *Zostera marina* fue de 3 ha, en laguna San Ignacio de 7 320 ha (73.2 km<sup>2</sup>) y en el canal del Infiernillo (Sonora) las praderas cubrían más de 9 056 ha (90.56 km<sup>2</sup>) lo que constituye la mayor extensión de esta especie en el golfo de California. También para Baja California Sur las praderas de *Halophila decipiens* en la bahía de La Paz (Costa Baja) cubrían menos de 400 m de longitud y se encontraba desde los 3.5 hasta los 7 m de profundidad (Santamaría-Gallegos *et al.*, 2006).

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA, 2016) reporta que en México existen 9 193 km<sup>2</sup> (919,300 ha) de praderas marinas cartografiadas, con datos puntuales correspondientes a ambas costas, pero menciona que, aún prevalece una considerable extensión de litoral que no ha sido estudiada con método alguno.

A nivel global las estimaciones de la superficie que ocupan los pastos marinos están en un intervalo de 300 mil km<sup>2</sup> (Duarte & Chiscano, 1999) a 600 mil km<sup>2</sup>; sin embargo, la extensión de cobertura de las praderas en el mundo está subestimada porque faltan

regiones por evaluar y los valores estimados han sido conservadores (Gattuso *et al.*, 2006). Incluso para México las estimaciones de cobertura de praderas de pastos marinos y coberturas mixtas de pastos marinos y macroalgas se deben considerar como subestimadas, en parte por la dificultad para medir estas co-

berturas, ya sea por la turbidez del agua, por la precisión de los instrumentos de medición, o por la profundidad a la que se encuentran algunas praderas, y en parte por la extensión en superficie que pueden cubrir y por la batimetría propia de la costa o el bajo arrecifal donde se desarrollan.

## CARBONO AZUL EN PRADERAS DE PASTOS MARINOS

Para comprender mejor los mecanismos responsables del almacenamiento de Carbono Azul, se debe comenzar por conocer la variabilidad, tendencias y estimaciones de los gases que se involucran directamente con el efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2$ ), así como las fuentes y sumideros (Ciais *et al.*, 2013). En este capítulo solo se explica brevemente el ciclo del carbono; sin embargo, una revisión muy detalla del ciclo, incluyendo el ciclo del carbonato de calcio y sus implicaciones en la acidificación de los océanos puede ser consultada en Kennedy *et al.* (2019).

El ciclo de carbono comprende tres grandes compartimentos que interactúan entre sí, el primero es la atmósfera donde se encuentra principalmente como bióxido de carbono ( $\text{CO}_2 \approx 0.03\%$ ), entre otros gases más abundantes como el nitrógeno ( $\text{N}_2 \approx 78\%$ ), oxígeno ( $\text{O}_2: \approx 21\%$ ) y argón ( $\text{Ar} \approx 1\%$ ), este compartimento se enlaza con el segundo, el océano, a través de una interface aire-superficie del mar, y donde hay un proceso de solubilización por mezcla de estos gases (Siegenthaler & Sarmiento, 1993), además, entran al mar por intemperismo a través de numerosos ríos diferentes compuestos de carbonatos y bicarbonatos, y en el mar el carbono se puede presentar como ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}^*$ , bi-

carbonato  $\text{HCO}^-$ , carbonato  $\text{CO}^{=}$  y bióxido de carbono  $\text{CO}$ ) (Thurman, 1975; Neshyba, 1987).

En el compartimento de los océanos y la zona costera oceánica los organismos autótrofos (fitoplancton, macroalgas, pastos marinos, manglares y marismas) utilizan el bióxido de carbono, vía fotosíntesis, para su desarrollo y crecimiento. El sedimento oceánico y costero constituyen el tercer compartimento donde todo el material formado por los autótrofos y los heterótrofos, una vez que mueren, precipitan para formar parte de los sedimentos, además a esto se suma el material orgánico arrastrado por los ríos que también aportan carbono al sedimento costero y oceánico, por lo que estos sedimentos son grandes sumideros de carbono (Smith, 1981; Duarte & Cebrián, 1996; Duarte *et al.*, 2010). El ciclo del carbono, así como otros ciclos y procesos oceánicos son complejos y están interrelacionados e influenciado por la temperatura, la profundidad, las corrientes oceánicas, las descargas de los ríos y la sedimentación en los océanos donde se encuentra el 99.5 % de todo el carbono emitido a la atmósfera (Mann & Lazier, 1996). Además, hay que agregar que una tercera parte de las emisiones de  $\text{CO}_2$  de origen antropogénico ha sido absorbida por el océa-

no desde el inicio de la era industrial (Sabine & Feely, 2007; Nellmann *et al.*, 2009).

El carbono azul es el carbono capturado por los autótrofos de los océanos y de los ecosistemas costeros, que pasa a formar parte de los tejidos por medio de la producción fotosintética (hojas, vainas, rizomas y raíces), más el carbono que al final del ciclo de vida de estos puede quedar almacenado en los sedimentos o puede ser exportado a otros ecosistemas (Walker *et al.*, 2001). Las praderas de pastos marinos a nivel global secuestran entre 20.73 a 50.69 Tg C año<sup>-1</sup>, el intervalo de estos valores depende de la consideración en la estimación de la superficie mundial de pastos marinos que va de 300 000 km<sup>2</sup> a los 600 000 km<sup>2</sup> (Charpy-Roubaud & Sournia, 1990; Duarte & Cebrián 1996; Duarte *et al.*, 2005; 2010).

La producción máxima diaria para las diferentes especies de pastos marinos en el mundo es de  $3.84 \pm 0.34$  g PS m<sup>-2</sup> en hojas y  $1.21 \pm 0.27$  g PS m<sup>-2</sup> en rizomas y raíces, lo que podría representar una producción promedio anual de 1012 g PS m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> (Duarte & Chiscano, 1999). Este intervalo de variación es muy amplio ya que incluyen especies diminutas (*e.g.* género *Halophila*), y especies robustas y grandes (p.ej. género *Amphibolis*); para este intervalo, la estimación promedio global de producción primaria neta de 2.7 g PS m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (Duarte & Chiscano, 1999). Sin embargo, en específico para *Thalassia testudinum* en los arrecifes frente al Puerto de Veracruz y Antón Lizardo (Veracruz), la producción primaria fue de entre  $3.95 \pm 0.16$  a  $4.62 \pm 0.15$  g PS m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> lo que representas más de un 31 a 41% de la estimación media global (Ramírez-García *et al.*, 2007; Terrados *et al.*, 2008), aunque se han calculado valores más altos ( $614 \pm 71$  g DW m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>) para esta

especie en el golfo de México (Kaldy & Duntton, 2000) y en el Caribe (300-510 g DW m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>: Van Tussenbroek, 1995), por lo que se debe considerar la variabilidad intrínseca de esta especie que puede estar en función de la luz, los nutrientes y lo que envuelve el cambio climático en general.

Las especies de pastos marinos más grandes tienden a desarrollar biomasa más elevada en el sedimento y, por lo tanto, tienen una mayor capacidad de acumulación de carbono debido a una tasa de renovación relativamente lenta de las raíces y los rizomas (40 días a 19 años; Pergent *et al.*, 1994). Algunos pastos marinos como *Posidonia oceanica* pueden generar grandes cantidades de carbono que da como resultado en el sedimento un contenido de C<sub>org</sub> de hasta 40 % y puede persistir durante milenios, representando así un gran sumidero de carbono a largo plazo (Pergent *et al.*, 1994; Romero *et al.* 1994; Mateo *et al.*, 1997). Fourqurean *et al.* (2012) estima que el C<sub>org</sub> almacenado como biomasa a nivel global promedia entre  $2.52 \pm 0.48$  Mg C ha<sup>-1</sup>, y dos tercios de esto esta constituido por rizomas y raíces; sin embargo, en estudios recientes para las costas de los Estados Unidos la media estimada es de  $25.7 \pm 6.7$  Mg C ha<sup>-1</sup> (Thorhaug *et al.*, 2017).

En algunas especies la biomasa de las praderas marinas se recambia en plazos de tiempo más cortos que van de semanas a años, pero las raíces y rizomas pueden perdurar en el sedimento por más tiempo, por lo que el papel que desempeñan en el balance de carbono oceánico es superior a lo que se espera del área que ocupan (Duarte *et al.*, 2010; CCA, 2016), además se ha observado que praderas de pastos marinos resturadas contiene mayores cantidades de carbono orgánico ( $38.7 \pm$

13.1 Mg C ha<sup>-1</sup>), lo que plantea posibilidades reales de almacenar carbono en estos ecosistemas (Thorhaug *et al.*, 2017). Las praderas de pastos marinos son responsables de aproximadamente del 10 al 18 % del almacenamiento total de carbono en el océano (Kennedy & Björk, 2009; Kennedy *et al.*, 2010), por lo que su conservación y restauración representan un papel preponderante en el abatimiento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera y en el océano.

Duarte *et al.* (2010) estiman una media global de producción de carbono neto en praderas de pastos marinos de 1.19 t C ha año<sup>-1</sup>, lo que permite calcular un intervalo de secuestro de carbono de entre 37.71 a 71.43 Tg C año<sup>-1</sup>, intervalo de estimación que depende del tamaño a considera de la superficie de praderas de pastos marinos en el mundo.

## ESTIMACIÓN DE CARBONO AZUL EN PRADERAS DE PASTOS MARINOS EN ALGUNAS COSTAS DE MÉXICO

Con base en diferentes métodos de obtención del carbono en tejidos y en sedimentos, diferentes autores han publicado diversos valores del contenido de carbono azul en praderas de pastos marinos en México. Algunos de estos métodos han sido por conversión o interpolación de valores de biomasa foliar o subterránea (forma indirecta), otros por los métodos de oxidación o ignición, y otros además utilizando diferentes equipos analizadores de elementos CH.

Calva-Benítez & Torres-Alvarado (2011), determinaron el C<sub>org</sub> en sedimentos de diferentes praderas de *Thalassia testudinum* en Campeche, Yucatán y Quintana Roo, resultando el mayor porcentaje en ambientes estuarinos (2.96 %) y el menor en ambientes arrecifales (1.14 %), con intervalos promedio de variación de 2.72 % a 8.37 % en las diferentes localidades estudiadas. Por su parte, Ramírez-Ramírez *et al.* (2015) estimó, de forma indirecta, el C<sub>org</sub> de *Thalassia testudinum* por conversión de la biomasa al considerar el 35% de C<sub>org</sub>, como lo asume Fourqurean *et al.* (2012), para praderas de Punta Cancún

y Punta Nizuc, Quintana Roo, obteniendo un intervalo de 0.32 a 0.22 Mg C ha<sup>-1</sup>. De la misma forma, López-Herrera *et al.* (2015) con la biomasa por arriba del sedimento estimó el contenido de carbono en *T. testudinum* obteniendo un intervalos de variación entre 0.63 a 1.13 Mg C ha<sup>-1</sup> en la temporada de estiaje y de 0.38 a 1.42 Mg C ha<sup>-1</sup> en la temporada de lluvias. También de forma indirecta y con base en la cosecha de biomasa por arriba del sedimento (hojas) y biomasa subterránea (rizomas y raíces), Kantún-Manzano & Herrera-Silveira (2015), obtuvieron en el puerto Dzilam de Bravo, en praderas de *Halodule wrightii* y *Syringodium filiforme* valores de carbono, por arriba del sedimento de 0.086 a 1.015 Mg C ha<sup>-1</sup>, y subterráneo de 0.088 a 1.62 Mg C ha<sup>-1</sup>, y de la misma forma Arellano-Mendez *et al.* (2015), calcula un intervalo de C<sub>org</sub> en praderas de pastos marinos de bahía Asunción (Quintana Roo) de 2.17 a 3.4 Mg C ha<sup>-1</sup>, e interpola estos valores a la cobertura de las praderas en la bahía.

López-Mendoza *et al.* (2017) estimó la proporción de C<sub>org</sub> hasta los 50 cm de pro-

fundidad en sedimentos recientes de praderas de pastos marinos en la laguna arrecifal de Puerto Morelos (Quintana Roo). Los intervalos de  $C_{org}$  en los núcleos sedimentarios fueron de 2 a 9 % y los determinaron mediante la técnica de pérdidas por ignición a 550 °C (PPI550) y 950 °C (PPI950), de acuerdo al método de Dean (1974), considerando que las concentraciones de  $C_{org}$  obtenidas en los tres núcleos fueron altas y comparables con otros valores observados en sedimentos de praderas de pastos marinos en otras regiones del mundo. Procedimientos similares de estimación “indirecta” también fueron realizados para *Zostera marina* en bahía San Quintin, B.C. (Camacho-Ibar *et al.*, 2007).

Existen algunas publicaciones internacionales recientes sobre Carbono Azul en praderas de pastos marinos del golfo de México, en particular Thorhaug *et al.* (2017) reportan carbón orgánico en los sedimentos de prade-

ras no alteradas de  $25.7 \pm 6.7 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y en sedimentos de praderas restauradas de  $38.7 \pm 13.1 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , utilizando un analizador de elementos (Elantech Flash 1112 Elemental Analyzer) y complementado con el método de pérdida por ignición.

Se debe considerar que se han observado praderas relativamente profundas de pastos marinos del género *Halophila* cubriendo grandes extensiones (Iverson & Bittaker, 1986; Williams, 1988) como las estimadas para Florida (20,000 km<sup>2</sup>) donde se calcula que un valor promedio de cobertura del 20% puede contribuir con hasta 456 Mg C d<sup>-1</sup> (Hammerstrom *et al.*, 2006). Ante estas nuevas observaciones y el uso de métodos de estimación del  $C_{org}$  más precisos habrá que replantear cuantificaciones inequívocas sobre almacenamiento y secuestro en las costas mexicanas.

## MÉTODOS USADOS Y MÉTODOS RECOMENDADOS

Se han desarrollado diferentes metodologías para estimar y cuantificar el almacenamiento de Carbono Azul en ecosistemas costeros, algunas de esas estimaciones pueden obtenerse mediante mediciones directas en el campo o a través de modelos (Howard *et al.*, 2014); sin embargo, algunos de los inconvenientes con estas metodologías es que no aportan la información necesaria para realizar estimaciones sólidas (Young *et al.*, 2018), y aunque se han desarrollado varios métodos químicos de bajo costo, algunos otros necesitan instrumentos analíticos complejos y costosos (Avramidis *et al.*, 2015). Howards *et al.* (2014), analiza los niveles de detalle para obtener los inventarios

de carbono con base en los métodos internacionales, que de acuerdo al Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) deben de reflejar cierto grado de exactitud en los valores del inventario.

Young *et al.* (2018), recomienda muestrear un mínimo de 40 núcleos para capturar la variación de carbono en decenas de kilómetros cuadrados y, además considerar obtener al menos nueve réplicas para capturar la variabilidad de carbono a lo largo del levantamiento de núcleos de sedimento de 1 m de profundidad, siempre que sea posible, y estas muestras se deberán estratificar por profundidad. Los autores también señalan que las ecuaciones

log-lineal pueden extrapolar con precisión el carbono y plantean métodos estandarizados para programas de muestreo para cuantificar los *stocks* a escalas nacionales. Es importante considerar que para determinar los sumideros de carbono se debe tener la especificidad requerida y considerar una escala de tiempo de reevaluación debido en parte a la hidrodinámica y a la movilidad de los compuestos en los sedimentos (Schumacher, 2002).

Cuando las estimaciones son directas, las técnicas para medir carbono pueden ser cuantitativas o semicuantitativas, dependiendo de los procesos usados para destruir la materia orgánica y el medio usado para detectar/cuantificar la presencia de carbono. En la tabla 1, se han resumido algunos de los métodos de estimación de la cobertura vegetal y de la evaluación del Carbono Azul en pastos marinos y en los sedimentos donde crecen, así como una comparación de las técnicas para su cuantificación.

## CONSIDERACIONES FINALES

Es importante conocer con precisión la cobertura de pastos marinos, incluyendo aquellos que crecen a profundidades mayores a los 10 o 12 m. Las praderas relativamente profundas de pastos marinos cubren grandes extensiones y han sido poco estudiadas.

La diferencia de valores de cobertura de hasta un orden de magnitud entre las diferentes estimaciones globales, nacionales e internacionales, permite observar la gran variabilidad intrínseca de algunas especies de pastos marinos, además el reporte de la ausencia de praderas en algunos sitios o la desaparición y disminución de estas, así como la limitante de ciertas estimaciones de cobertura, hace pensar que se debe considerar que existen varias comunidades de macrófitos (pastos marinos y macroalgas), que crecen rebasando la isobata de los 10 a 12 m y no están siendo cuantificados; por lo tanto su contribución al secuestro de carbono puede ser importante.

Actualmente, las praderas de pastos marinos de México y el mundo se están perdiendo a un ritmo acelerado, producto del crecimien-

to antrópico y sus actividades en la zona costera. Ello a pesar de que brindan importantes servicios ecosistémicos como zonas de crianza y protección para la biodiversidad global, sumando su contribución a la capacidad humana de mitigar y adaptarse a los impactos del cambio climático en zonas costeras, a través de la mitigación de los gases de efecto invernadero y del secuestro de Carbono Azul.

Es evidente el pobre conocimiento de las praderas de pastos marinos en CASGM. Es imperante realizar estudios científicos que establezcan su estatus actual en términos de cobertura, dinámica de crecimiento, fragmentación, estructura y riqueza biótica.

Hace falta el diseño de un programa que permita generar una línea base de la distribución de los pastos marinos y monitorear sus cambios, similar al de CONABIO, con los manglares. Sin un sistema de monitoreo adecuado, aunque las estimaciones de carbono mejoren, no podrán ser generalizadas a extensiones mayores.

**Tabla 1.** Resumen de los métodos de estimación de cobertura de pastos marinos y de la estimación de carbono orgánico ( $C_{org}$ ) en material vegetal y en sedimentos de pastos marinos.

Método	Características	Ventajas	Desventajas
Sensores Remotos: LANDSAT MODIS SPOT PALSAR GLAS del ICESat (Mitra y Zaman, 2015).	Reflejan la variación de pigmentos (clorofila) a través de la firma espectral de la vegetación, proporcionando mapas de cobertura vegetal espacial y temporal. Se pueden hacer mediciones con distintas resoluciones espaciales. Se pueden realizar monitoreos detallados por décadas y a varias escalas (1ha - >100km <sup>2</sup> ). Pueden ayudar a determinar cambios en la existencia de carbono y los servicios del ecosistema. Los mapas permiten optimizar la selección de puntos de muestreo.	Los satélites son una fuente constante de información.	Según el tipo de sensor remoto (activo o pasivo) presentan desventajas como: Requieren de luz solar para generar imágenes, por lo que la nubosidad puede limitar la capacidad de obtención de imágenes. Las aguas turbias y la profundidad limitan la visibilidad, por lo que suele ser necesario buscar soluciones combinadas. Los sensores remotos activos pueden ser más costosos y las imágenes son más difíciles de analizar.
Núcleos de sedimento	Sirven para estimar el contenido de $C_{org}$ en el suelo (% $C_{org}$ ). Para determinar con exactitud la densidad de carbono en el suelo (incluso en intervalos específicos de profundidad), deben cuantificarse dos parámetros: densidad aparente del suelo y contenido de $C_{org}$ .	Permiten determinar cambios a largo plazo en las existencias de carbono asociado no solo a la vegetación que los cubre si no a perturbaciones, cambio climático y cambios de uso de suelo.	Puede resultar muy difícil en suelos muy profundos dado que se requieren barrenas pesadas. Debido a que los sedimentos en praderas de pastos marinos están saturados de agua, no mantienen bien su forma y son más susceptibles a la compactación.

**Tabla 1.** Resumen de los métodos de estimación de cobertura de pastos marinos y de la estimación de carbono orgánico ( $C_{org}$ ) en material vegetal y en sedimentos de pastos marinos.

Método	Características	Ventajas	Desventajas
<b>Técnicas para determinar <math>C_{org}</math></b>			
Analizador de elementos	Utiliza un horno de inducción a alta temperatura, espectroscopia infrarroja o separación de gases por cromatografía de gases y detección de conductividad térmica para medir el contenido de carbono y otros elementos.	Medida cuantitativa del contenido de carbono.	Requiere de instrumentos especiales y puede ser costoso.
Porcentaje de pérdida por ignición. Losson Ignition (% LOI) (Dean, 1974).	Determina la materia orgánica del suelo a través de la combustión de la muestra del suelo a altas temperaturas ( $-450^{\circ}C$ ).  $\%LOI = \left( \frac{M1 - M2}{M1} \right) * 100$ <p>M1= Masa seca antes de la combustión M2= Masa seca después de la combustión (mg).</p>	Medida semicuantitativa del contenido de $C_{org}$ . Bajo costo, tecnología sencilla y durable.	LOI representa la pérdida de materia orgánica (C, H, N, O, S, etc) y no solamente la pérdida de $C_{org}$ . Debe determinarse una relación entre el % LOI y el % $C_{org}$ . Sobreestima el contenido de $C_{org}$ en sedimentos ricos en carbonatos y en suelos que contienen >11% de minerales de arcilla. LOI debe verificarse con el método de combustión seca para verificar su precisión y corrección
Análisis de carbono por oxidación húmeda (Walkley- Black 1934).	Análisis de $C_{org}$ fácilmente oxidable.	Medida semicuantitativa del contenido de $C_{org}$ ; bajo costo y química sencilla. Método simple y requiere poco equipo.	El $H_2O_2$ no siempre digiere el carbono por igual. Produce desechos tóxicos. Los resultados obtenidos no pueden considerarse cuantitativos.
Acidificación Froelich, 1980	Representa la pérdida de $C_{org}$ por disolución.	Eliminación selectiva de carbono inorgánico.	Necesita un analizador de elementos (CHN) y un analizador de $C_{org}$ disuelto (DOC)
Acidificación Weliky <i>et al.</i> , 1983	Se basa en la oxidación húmeda para el análisis de $C_{org}$ .	$C_{org}$ e $C_{inorg}$ se determinan secuencialmente en la misma muestra utilizando solo un instrumento.	Es una técnica más lenta y no tan completa como la combustión a alta temperatura.

<b>Tabla 1.</b> Resumen de los métodos de estimación de cobertura de pastos marinos y de la estimación de carbono orgánico ( $C_{org}$ ) en material vegetal y en sedimentos de pastos marinos.			
<b>Método</b>	<b>Características</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Técnicas para determinar <math>C_{org}</math></b>			
Acidificación Weliky <i>et al.</i> , 1983	Se basa en la oxidación húmeda para el análisis de $C_{org}$ .	$C_{org}$ e $C_{inorg}$ se determinan secuencialmente en la misma muestra utilizando solo un instrumento.	Es una técnica más lenta y no tan completa como la combustión a alta temperatura.
Acidificación Hedges y Stern, 1984	Su metodología discrimina $C_{org}$ , nitrógeno total y carbono inorgánico por acidificación.	Evita la pérdida de materia orgánica e inorgánica soluble en ácido y requieren solo combustión a alta temperatura	El carbono inorgánico se elimina mediante acidificación acuosa o en fase vapor.
Acidificación Nieuwenhuize <i>et al.</i> , 1994	Acidificación con 25% de ácido clorhídrico	La técnica elimina los procedimientos de pesaje, las pérdidas de compuestos orgánicos e inorgánicos (excepto carbonatos y sulfuros). Precisión de alrededor del 3%, independientemente del contenido de carbonato de calcio de la muestra.	Analizador de C N automático.
Análisis de carbono por combustión seca (Nelson y Sommers, 1996).	Este método permite determinar el porcentaje de concentración de $C_{org}$ total sin tener que disponer de desechos líquidos, tóxicos o corrosivos. $C_{total} = C_{org} + C_{inorg}$	Determinan simultáneamente carbono y nitrógeno total como parte del mismo proceso de análisis, lo que los hace fáciles, rápidos, precisos y reproducibles.	Necesita un autoanalizador de elementos CHN.
Estimaciones de carbono en la biomasa (Fourqurean <i>et al.</i> , 2012; Howard <i>et al.</i> , 2014)	Toma en consideración la biomasa viva mediante la cosecha por unidad de área con muestras de tejidos por arriba del sedimento y subterránea. Biomasa x 0.35. Se expresa en Mega gramos de Carbono por hectárea ( $MgC\ ha^{-1}$ ).	Método rápido que con sus consideraciones (estimación de la biomasa de epífitas) sienta la base del potencial de stock de Carbono Total. Componente vegetativo ( $Mg\ C/ha$ ) = Contenido de carbono ( $kg\ C/m^2$ ) * ( $Mg/1,000\ kg$ ) * ( $10,000\ m^2/ha$ ).	Debido a que se registra el peso seco de cada componente por unidad de área, el contenido de $C_{org}$ se estima de manera indirecta que puede variar entre especies, comunidades y regiones, incluso inherente por condiciones fisiológicas de la especie.

## LITERATURA CITADA

- Arellano-Méndez, L., J. Bello-Pineda, J. Aké-Castillo, H. Pérez-España & L. Martínez-Cárdenas, 2016. Distribución espacial y estructura morfológica de las praderas de *Thalassia testudinum* (Hydrocharitaceae) en dos arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Revista de Biología Tropical*, 64: 427-448.
- Arellano-Méndez, L., S. Morales-Ojeda & J. Herrera-Silveira, 2015. Carbono orgánico de las praderas de *Thalassia testudinum* en Bahía de la Ascensión (Quintana Roo, México): Una primera estimación del contenido de carbono azul en una laguna costera del Caribe Mexicano. pp. 421-427. En: F. Paz, & J. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. 639 pp.
- Avramidis, P., K. Nikolaou & V. Bekiari, 2015. Total organic carbon and total nitrogen in sediments and soils: A comparison of the wet oxidation –titration method with the combustion-infrared method. *Agriculture & Agricultural Science Procedia*, 4:425–430.
- Calva-Benítez, L. & R. Torres-Alvarado, 2011. Carbono orgánico y características texturales de sedimentos en áreas del pasto marino *Thalassia testudinum* en ecosistemas costeros del sureste del Golfo de México. *Universidad y Ciencia*, 27:133-144.
- Camacho-Ibar, V., M. Hernández-Ayón, E. Santamaría-del-Ángel, L. Daesslé-Heuser & J. Zertuche-González, 2007. Relación de las surgencias con los stocks de carbono en Bahía San Quintín, una laguna costera del NW de México. En: Hernández de la Torre & Gaxiola Castro (Comp). *Carbono en ecosistemas acuáticos de México*. INE, SEMARNAT, CICESE, México.
- CCA Comisión para la Cooperación Ambiental, 2016. *Carbono azul en América del Norte: evaluación de la distribución de los lechos de pasto marino, marismas y manglares, y su papel como sumideros de carbono*. Comisión para la Cooperación Ambiental, Canadá, 58 pp.
- Cerdeira-Estrada, S., T. Heege, M. Kolb, S. Ohlendorf, A. Uribe, A. Müller, R. Garza, R. Ressler, R. Aguirre, I. Mariño, R. Silva & R. Martell, 2012. *Benthic habitat and bathymetry mapping of shallow waters in Puerto Morelos reefs using remote sensing with physics based data processing*. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. P/p. 4383-4386.
- Charpy-Roubaud, C. & A. Sournia, 1990. The comparative estimation of phytoplanktonic and microphytobenthic production in the oceans. *Marine Microbial Food Webs*, 4: 31–57.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., De-Fries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Le Quére, C., Myneni, R.B., Piao, S. & P. Thornton, 2013. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. pp. 465-570. En: T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, y P. M. Midgley (eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY, USA.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farberk, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton & M. Van den Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253–60.
- CONABIO, 2012 Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Comisión intersecretarial, Gobierno Federal.

- <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Creed, J., R. Phillips & B. Van Tussenbroek, 2003. The seagrasses of The Caribbean. pp. 224-233. En: P. E. Green y F. T. Short (eds.). *World Atlas of Seagrasses*. UNEP world Conservation Monitoring Center. University of California Press, Berkeley, USA. 290 pp.
- De la Lanza, G. & M. Rodríguez-Medina, 1991. Análisis ecológico de los productores primarios en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Universidad y Ciencia*, 8 :15-25.
- Dean Jr., W.E., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44:242-248.
- Den-Hartog, C., 1970. *The sea grasses of the world*. North Holland Pub. Co. Amsterdam.
- Duarte, C., 1991. Seagrass depth limits. *Aquatic Botany*, 40:363-377.
- Duarte, C., J. Middelburg & N. Caraco, 2005. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2:1-8.
- Duarte, C., N. Marbà, E. Gacia, J. Fourqurean, J. Beggins, C. Barrón & E. Apostolaki, 2010. Seagrass community metabolism: Assessing the carbon sink capacity of seagrass meadows. *Global Biogeochemical Cycles*, 24:1-8.
- Duarte, C. & C. Chiscano, 1999. Seagrass biomass and production: a reassessment. *Aquatic Botany*, 65:159-174.
- Duarte, C. & J. Cebrián, 1996. The fate of marine autotrophic production. *Limnology & Oceanography*, 41:1758-1766.
- Fourqurean, J., C. Duarte, H. Kennedy, N. Marbà, M. Holmer, M., Mateo, E. Apostolaki, G. Kendrick, D. Krause-Jensen, K. McGlathery & O. Serrano, 2012. Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*, 5:505-509.
- Froelich, P., 1980. Analysis of organic carbon in marine sediment. *Limnology & Oceanography*, 25(3):564-572.
- Gallegos, M., M. Merino, N. Marbà & C. Duarte, 1993. Biomass and dynamics of *Thalassia testudinum* in the Mexican Caribbean: elucidating rhizome growth. *Marine Ecology Progress Series*, 95:185-192.
- Gattuso, J., B. Gentili, C. Duarte, J. Kleypas, J. Middelburg & D. Antoine, 2006. Light availability in the coastal ocean: Impact on the distribution of benthic photosynthetic organisms and their contribution to primary production. *Biogeosciences*, 3:489-513.
- Green, P. & F. Short, 2003. *World Atlas of Seagrasses*. UNEP world Conservation Monitoring Center. University of California Press, Berkeley, USA. 298 p.
- Hammerstrom, K., W. Kenworthy, M. Fonseca & P. Whitfield, 2006. Seed bank, biomass, and productivity of *Halophila decipiens*, a deep water seagrass on the west Florida continental shelf. *Aquatic Botany*, 84:110-120.
- Hedges, J. & J. Stern, 1984. Carbon and nitrogen determinations of carbonate-containing solids, *Lim. & Oceanography*, 29:657-663.
- Hemminga, M. & C. Duarte, 2000. *Seagrass ecology*. Cambridge University Press. UK. 298 p.
- Herrera-Silveira, J., J. Cebrián, J. Hauxwell, J. Ramirez-Ramirez & P. Ralph, 2009. Evidence of negative impacts of ecological tourism on turtlegrass (*Thalassia testudinum*) beds in a marine protected area of the Mexican Caribbean. *Aquatic Ecology*, 44:23-31.
- Hopkinson, Jr. C., S. Kipp & J. Stevenson, 1988. Nitrogen pools and turnover times in a tropical seagrasses system, Terminos Lagoon. 171-180 p. En: A. Yáñez-Arancibia & J. Day (eds). *Ecology of the coastal ecosystems in the southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region*. 518 p.
- Howard, J., S. Hoyt, K. Isensee, M. Telszewski & E. Pidgeon, 2014. *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Conservation International, IOC-UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA. 181 pp.

- Hughes, A., S. Williams, C. Duarte, K. Heck & M. Waycott, 2009. Associations of concern: declining seagrasses and threatened dependent species. *Frontier in Ecology & Environment*, 7:242-246.
- Iverson, R. & H. Bittaker, 1986. Seagrass distribution and abundance in Eastern Gulf of Mexico Coastal Waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 22: 577-602.
- Jordán, E., M. Angot & R. de la Torre, 1978. Prospección biológica de la laguna Nichupté, Cancún, Quintana Roo, México. *Anales de Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, UNAM, México. 5:199-188.
- Kaldy, J. & K. Dunton, 2000. Above- and below-ground production, biomass and reproductive ecology of *Thalassia testudinum* (turtle grass) in a subtropical coastal lagoon. *Marine Ecology Progress Series*, 193: 271-283.
- Kantún-Manzano, C. & J. Herrera-Silveira, 2015. Influencia de las descargas de agua subterránea en los almacenes de carbono azul en dos praderas de pastos marinos en Yucatán. Pp. 415-420. En: F. Paz & J. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el CINVESTAV, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. 640 pp.
- Kantú-Manzano, C., J. Herrera-Silveira & F. Arcega-Cabrera, 2018. Influence of Coastal Submarine Groundwater Discharges on Seagrass Communities in a Subtropical Karstic Environment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 100:176–183.
- Kemp, W., W. Boynton, J. Stevenson, C. Hopkinson, J. Day Jr. & A. Yañez-Arancibia, 1988. Ammonium regeneration in the sediments of a tropical seagrasses bed (*Thalassia testudinum*) community, Terminos Lagoon. Pp. 181-192. En: A. Yañez-Arancibia & J. Day (eds). *Ecology of the coastal ecosystems in the southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon region*. 518pp.
- Kennedy, H. & M. Björk, 2009. Seagrass Meadows. In: Laffoley & Grimsditch (Ed.) *The Management of Natural Coastal Carbon Sinks*. IUCN 23-29.
- Kennedy, H., J. Beggins, C. Duarte, J. Fourqurean, M. Holmer, N. Marbà & J. Middelburg, 2010. Seagrass sediments as a global carbon sink: *Isotopic constraints Global Biogeochemical Cycles*, 24 (4). Doi:101029/2010GB003848.
- Kennedy, H., J. Fourqurean & S. Papadimitriou, 2019. The Calcium Carbonate Cycle in Seagrass Ecosystems. 107-119. En: L. Windham-Myers, S. Crooks & T. Troxler (eds.). *A Blue Carbon Primer The State of Coastal Wetland Carbon Science, Practice, and Policy*. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW. 469 pp.
- Larkum, A., E. Drew & P. Ralph, 2006. Photosynthesis and Metabolism in Seagrasses at the Cellular Level. Pp. 323-345. En: A. Larkum, R. Orth & C. Duarte (eds.). *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*. Springer, Dordrecht. 691 pp.
- Logan, B.W. 1969 Coral reefs and banks, Yucatan Shelf, Mexico. pp. 129-198. En: B.W. Logan (ed.). *Carbonate Sediments and Reefs, Yucatan Shelf Mexico*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma.
- López-Calderón, J.M., 2012. Áreas Críticas para la Conservación de *Zostera marina* en Lagunas Costeras del Noroeste Mexicano. *Tesis Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California Sur*, La Paz, B.C.S. 152 pp.
- López-Calderón, J., R. Riosmena-Rodríguez, J. Torre & A. Meling-López, 2013. El pastomarina en el Golfo de California: estado actual y amenazas. *Biodiversitas*, 97: 20–23.
- López-Herrera M. N., J. A. Herrera-Silveira & J. Ramírez-Ramírez, 2015. Pastos marinos como almacenes de carbono en la Bahía de Campeche. pp. 387-391. F. Paz, J. Wong (eds). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con

- el CINVESTAV, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. 639 pp.
- López-Mendoza, P., A. Ruiz-Fernández, J. Sánchez-Cabeza, B. Van Tussenbroek & L. Pérez-Bernal, 2017. Carbono azul en núcleos sedimentarios de la Laguna Arrecifal de Puerto Morelos, Quintana Roo. pp. 232-238. F. Paz, R. Torres & A. Velázquez (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2017*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el CICESE y la Universidad Autónoma de Baja California. Texcoco, Estado de México, México. 656 pp.
- Lot, 1971. Estudio sobre las fanerógamas marinas en las cercanías de Veracruz. *Anales del Instituto de Biología UNAM Ser. Botánica*, 42:1-48.
- Lot-Helgueras, A., 1977. General status of research on seagrass ecosystems in Mexico. pp. 233-246. En: C. McRoy & C. Helffferich (eds.). *Seagrass ecosystems: a scientific perspective*. Marcel Dekker, N. Y.
- Lot A., A. Novelo & P. Ramírez-García, 1993. Diversity of aquatic vascular plant flora. 577- 591. En: T. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot & J. Fa (eds.). *Biological diversity of Mexico: Origins and Distribution*. Oxford University Press. 812 pp.
- Lot, A., A. Novelo, M. Olvera & P. Ramírez-García, 1999. *Catálogo de Angiospermas Acuáticas de México: Hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes*. Cuadernos de Biología 33. Instituto de Biología, UNAM. 161 p.
- Lovelock, C., D. Friess, J. Kauffman & J. Fourqurean, 2019. Human Impacts on Blue Carbon Ecosystems. pp. 17-24. En: L. Windham-Myers, S. Crooks & T. Troxler (eds.). *A Blue Carbon Primer The State of Coastal Wetland Carbon Science, Practice, and Policy*. CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW. 469 pp.
- Macreadie, P., D. Nielsen, J. Kelleway, T. Atwood, J. Seymour, K. Petrou, R. Connolly, A. Thomson, Trevathan-Tackett & P. Ralph, 2017. Can we manage coastal ecosystems to sequester more blue carbon?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15:206–213.
- Mann, K. & J. Lazier, 1996. *Dynamics of marine ecosystems*. Blackwell Science, Inc. 394 p.
- Mateo, M., J. Romero, M. Perez, M. Littler & D. Littler, 1997. Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44:103–110.
- Maxwell, P., J. Eklof, M. van Katwijk, K. O'Brien, M. de la Torre-Castro, C. Bostrom, T. Bouma, D. Krause-Jensen, R. Unsworth, B. van Tussenbroek & T. van der Heide, 2016. The fundamental role of ecological feedback mechanisms for the adaptive management of seagrass ecosystems – a review. *Biological Revision*. doi:10.1111/brv.12294
- McLeod, E., G. Chmura, S. Bouillon, R. Salm, M. Björk, C. Duarte, C. Lovelock, W. Schlesinger & B. Silliman, 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology Environment*, 9: 552–560. doi:10.1890/110004.
- Medina-Gómez, I., C. Madden, J. Herrera-Silveira & B. Kjerfve, 2016. Response of *Thalassia testudinum* Morphometry and Distribution to Environmental Drivers in a Pristine Tropical Lagoon. *PLoS ONE*, 11(10) 0164014.
- Mitra, A. & S. Zaman, 2015. *Blue Carbon Reservoir of the Blue Planet*. Springer New Delhi. 299 pp.
- Moore, K. & R. Wetzel, 1988. The distribution and productivity of seagrasses in the Terminos Lagoon. pp. 207-220. En: A. Yañez-Arancibia y J. Day (eds). *Ecology of the coastal ecosystems in the southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon region*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria, México DF. 518 pp.
- Mtwana-Nordlund, L., E. Jackson, M. Nakaoka, J. Samper-Villarreal, P. Beca-Carretero & J.

- Creed, 2018. Seagrass ecosystem services-what's next?. *Marine Pollution Bulletin*, 134:145-151.
- Muñoz-Sevilla, N., I. Azuz-Adeath, M. Le Bail & A. Cortés-Ruiz, 2019. Coastal development: construction of a public policy for the shores and seas of Mexico. Chpt. 3, 21-38. En: R. Krishnamurthy, M. Jonathan, S. Srinivasalu & B. Glaeser (eds). *Coastal Management: Global Challenges and Innovations*.
- Murray, B., L. Pendleton, W. Jenkins & S. Sifleet, 2011. *Green Payments for Blue Carbon Economic Incentives for Protecting Threatened Coastal Habitats*. DUKE, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. Durham, North Carolina. 42pp. <https://nicholasinstitute.duke.edu/sites/default/files/publications/blue-carbon-report-paper.pdf>
- Nelson, D. & L. Sommers, 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 961-191. En: D. Sparks & J. Bartels (eds.). *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods. Book Series no. 5. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Madison.
- Nellmann, C., E. Corcoran, C. Duarte, L. Valdés, C. De Young, L. Fonseca & G. Grimsditch, 2009. *Blue Carbon. A Rapid Response Assessment*. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, [www.grida.no](http://www.grida.no). Birkeland Trykkeri AS, Norway.
- Neshyba, S., 1987. *Oceanography: perspectives on a fluid earth*. John Wiley y Sons. NY. 506 pp.
- Nieuwenhuize, J., Y. Maas & J. Middelburg, 1994. Rapid analysis of organic carbon and nitrogen in particulate materials. *Marine Chemistry*, 45: 217-224.
- Onuf, C., R. Phillips, C. Moncreiff, A. Raz-Guzman & J. Herrera-Silveira, 2003. The seagrasses of The Gulf of Mexico. pp. 224-233. En: P. Green & F. Short (eds.). *World Atlas of Seagrasses*. UNEP world Conservation Monitorin Center. University of California Press, Berkeley, USA.
- Ortiz-Lozano, L., A. Granados-Barba, V. Solís-Weiss & M. García-Salgado, 2005. Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean & Coastal Management*, 48:161-176.
- Orth, R., T. Carruthers, W. Dennison, C. Duarte, J. Fourqurean, K. Heck, A. Hughes, G. Kendrick, W. Judson-Kenworthy, S. Olyarnik, F. Short, M. Waycott & S. Williams, 2006. A Global Crisis for Seagrass Ecosystems. *BioScience*, 56:987-996.
- Palafox-Juárez, B. & M. Liceaga-Correa, 2017. Spatial diversity of a coastal seascape: Characterization, analysis and application for conservation. *Ocean and Coastal Management* 136:185-195.
- Pendleton, L., D. Donato, B. Murray, S. Crooks, W. Jenkins, S. Sifleet, C. Craft, J. Fourqurean, J. Kauffman, N. Marbà, P. Megonigal, E. Pidgeon, D. Herr, D. Gordon & A. Baldera, 2012. Estimating Global "Blue Carbon" Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems. *PLoS ONE* 7(9): e43542.
- Pergent, G., J. Romero, C. Pergent Martini, M. Mateo & C. Boudouresque, 1994. Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series*, 106(1-2):139-146.
- Ramírez-García, P., J. Terrado, J. Ramos, A. Lot, D. Ocaña & C. Duarte, 2002. Distribution and nutrient limitation of surfgrass, *Phyllospadix scouleri* and *Phyllospadix torreyi* along the Pacific Coast of Baja California (Mexico). *Aquatic Botany*, 74:121-131.
- Ramírez-García, P., J. Terrados M., O. Hernández, K. Pedraza & A. Quiroz, 2007. La vegetación de *Thalassia testudinum* en los arrecifes de Hornos, Sacrificios y Enmedio: Biomasa, productividad y dinámica de crecimiento. pp. 173-184. En: A. Granados-Barba, L. Abarca-Arenas y J. Vargas-Hernández (eds.) *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche. 304 pp.
- Ramírez-García, P. & A. Lot H. 1994. La distribución del manglar y de los pastos marinos en el Golfo de California. *Anales Instituto de Biología UNAM, Serie Botánica* 65:63-72.

- Raz-Guzmán, A. & A. Sánchez, 1996. Trophic structure related to seagrass habitat complexity. pp. 241-248. En: J. Kuo R. Phillips, D. Walker & H. Kirkman (eds.). *Seagrass biology: Proceeding of an International Seagrass Workshop*. Rottneest Island. Australia. 385 pp.
- Ramírez-Ramírez, J., Herrera-Silveira J., Cortes-Balam O. & J. Valdez-Iuit, 2015. Los pastos marinos como almacenes de carbono en el Parque Marino Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc. pp. 327-331. En: F. Paz & J. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el CINVESTAV, Unidad Mérida y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. 639 pp.
- Rodríguez-Zúñiga, T., B. Vázquez-Balderas, C. Troche-Souza, S. Cerdeira-Estrada, A. Uribe-Martínez, M. Cruz-López & R. Ressler, 2015. Establecimiento de la línea base para el mapeo y monitoreo de carbono azul en manglares, pastos marinos y otros humedales en México. Pp. 338-349. En: F. Paz, J. Wong (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2014*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono, CINVESTAV, Unidad Mérida, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Texcoco, Estado de México, México. 639 pp.
- Romero, J., M. Perez, M. Mateo & E. Sala, 1994. The belowground organs of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* as a biogeochemical sink. *Aquatic Botany*, 47(1):13-19.
- Santamaría-Gallegos, N. A., R. Riosmena-Rodríguez & J. L. Sánchez-Lizaso, 2006. Occurrence and seasonality of *Halophila decipiens* Ostenfeld in the Gulf of California. *Aquatic Botany* 84:363-366.
- Sabine, C. & R. Feely, 2007. The oceanic sink for carbon dioxide. pp. 31-49. En: D. Reay, C.N. Hewitt, K. Smith y J. Grace (eds.). *Greenhouse Gas Sinks*. Oxfordshire: CABI Publishing. London. 290pp.
- Schumacher, B. A., 2002. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. NCEA-C-1282, EMASC-001. US Environmental Protection Agency, Las Vegas, USA.
- Short, F., T. Carruthers, W. Dennison & M. Waycott, 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology* 350:3-20.
- Siegenthaler, U. & J. Sarmiento, 1993. Atmospheric carbon dioxide and the ocean. *Nature*, 365:119-125.
- Smith, S.V., 1981. Marine macrophytes as a global carbon sink. *Science* 211:838-840.
- Stevenson, J., C. Madden & C. Jr. Hopkinson, 1988. Sources of new nitrogen in a tropical seagrass system, Terminos Lagoon, with special reference to N-fixation. pp. 159-170. En: A. Yañez-Arancibia y J. W. Day (eds). *Ecology of the coastal ecosystems in the southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon region*. Universidad Nacional Autónoma de México. 518 pp.
- Terrados, J., P. Ramírez-García, O. Hernández-Martínez, K. Pedraza & A. Quiroz, 2008. State of *Thalassia testudinum* Banks ex König Meadows in the Veracruz Reef System, Veracruz, México. *Aquatic Botany* 88:17-26.
- Terrados, J. & P. Ramírez-García, 2011. Cover and edge length to area ratio of seagrass (*Thalassia testudinum*) meadows in coral reef lagoons (Veracruz Reef System, Southwest Gulf of México). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 21:224-230.
- Thurman, H.V., 1975. *Introductory Oceanography*. Merrill Publishing Co. 5a ed. Ohio. 515 pp.
- Thorhaug, A., H. Poulos, J. López-Portillo, T. Ku, G. Berlyn, 2017. Seagrass blue carbon dynamics in the Gulf of Mexico: Stocks, losses from anthropogenic disturbance, and gains through seagrass restoration. *Science of the Total Environment*, 605-606:626-636.

- UAM-I & INECC, 2018. *Pastos marinos del estado de Veracruz*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/pastmar17gw.28/09/2018>.
- UAM-I, INECC & CIGOM, 2018. *Comunidades de vegetación acuática sumergida del Golfo de México*. UAM-Iztapalapa, INECC, Consorcio de Investigación del Golfo de México, México. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/pastmar17gw.28/09/2018>.
- Unsworth, R., C. Collier, M. Waycott, L. McKenzie & L. Cullen-Unsworth, 2015. A framework for the resilience of seagrass ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 100:34–46.
- Unsworth K., L. Mtwana & L. Cullen-Unsworth, 2018. Seagrass meadows support global fisheries production. *Conservation Letters*, 2019;12:e12566. <https://doi.org/10.1111/conl.12566>
- Villalobos-Lechuga, P., L. Méndez-Barroso, Z. Sánchez-Mejía & L. Lozano-Angulo, 2017. Carbon storage on mangrove and seagrass meadows sediments in the South of Sonora. pp. 301-306. En: F. Paz, R. Torres & A. Velázquez (eds.). *Estado Actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus Interacciones en México: Síntesis a 2017*. Serie Síntesis Nacionales. Programa Mexicano del Carbono en colaboración con el CICESE y la Universidad Autónoma de Baja California. Texcoco, Estado de México, México. 656 pp.
- Van Tussenbroek, B., 1995. *Thalassia testudinum* leaf dynamic leaf in a Mexican Caribbean coral reef lagoon. *Marine Biology*, 122:33-40.
- Van Tussenbroek, B., M. Barba, J. Wong, J. Van Dijk & M. Waycott, 2010. *Guía de los pastos marinos tropicales del Atlántico oeste*. UNAM. México D.F. 79 pp.
- Walkley, A. & I. Black, 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38.
- Walker, D., K. Hillman, G. Kendrick & P. Lavery, 2001. Ecological significance of seagrasses: assessment for management of environmental impact in western Australia. *Ecological Engineering*, 16:323-30.
- Ward, D., T. Tibbitts, A. Morton, E. Carrera-González & R. Kempka, 2004. Use of digital multispectral videography to assess seagrass distribution in San Quintin Bay, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 30:47-60.
- Waycott, M., C. Duarte, T. Carruthers, R. Orth, W. Dennison, S. Olyarnik, A. Calladine, J. Fourqurean, K. Heck Jr., A. Hughes, G. Kendrick, W. Kenworthy, F. Short & S. Williams, 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, 106:12377-12381.
- Weliky, K., E. Suess, C. Ungerer, P. Muller & K. Fischer, 1983. Problems with accurate carbon measurements in marine sediments and particulate matter in seawater: a new approach. *Limnological & Oceanography*, 28:1252-1259.
- Williams, S. 1988. *Thalassia testudinum* productivity and grazing by green turtles in a highly disturbed seagrass bed. *Marine Biology* 98(3):447-455.
- Williams S. & L. Heck, 2001. Seagrass community ecology. pp 317-337. En: M. Bertness, S. Gaines & M. Hay (eds). *Marine Community Ecology*. Sunderland, M. Sinauer Assoc. 550 pp.
- Young, M. A., P. I. Macreadie, C. Duncan, P. E. Carnell, E. Nicholson, O. Serrano, C. M. Duarte, G. Shiell, J. Baldock & D. Ierodiakonou, 2018. Optimal soil carbon sampling designs to achieve cost-effectiveness: a case study in blue carbon ecosystems. *Biol. Lett.* 14: 20180416. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2018.0416>

Aké-Castillo, J.A. y C.F. Rodríguez-Gómez, 2019. El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México y los Sistemas de Manglar de Veracruz, p. 301-316. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México y los Sistemas de Manglar de Veracruz

*José Antolín Aké-Castillo*<sup>1\*</sup> y *Carlos Francisco Rodríguez-Gómez*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana

<sup>2</sup>Instituto de Ecología A. C.

\*aake@uv.mx

## RESUMEN

Los arrecifes coralinos y manglares son ecosistemas que se distribuyen en latitudes tropicales y subtropicales. Entre estos dos hábitats se establece una relación a través del movimiento de especies y otros procesos ecológicos que resultan en una conectividad funcional necesaria para la vida en el entorno marino. En este trabajo se hace una revisión bibliográfica y se dan ejemplos específicos de la conectividad existente entre los manglares de Veracruz y el corredor arrecifal del suroeste del golfo de México (CASGM). Se describen los sistemas de manglar asociados a los arrecifes de CASGM y se presentan ejemplos de organismos que utilizan ambos ecosistemas veracruzanos. Los peces, aves y mamíferos marinos tienen representantes que utilizan estos hábitats. Se resalta la importancia del jurel, *Caranx hippos*, como una especie que utiliza los sistemas de manglar y el CASGM. Un enfoque de cuenca es necesario para la elaboración de los planes de conservación y manejo de los arrecifes veracruzanos. Los vertebrados constituyen un grupo clave para el desarrollo de los programas de manejo para el CASGM y zonas de manglar, pero hace falta información de otros procesos ecológicos, así como generar información básica en el Sistema Arrecifal Los Tuxtlas y la laguna del Ostión.

**Palabras clave:** conectividad, lagunas costeras, manejo

## ABSTRACT

Coral reefs and mangroves are ecosystems that distribute in tropical and subtropical latitudes. Between these two habitats, a relationship exists through organism's movement and other ecological processes, which results in a functional connectivity necessary for the life in the marine environment. In this work, we did a bibliographic revision and we gave specific examples of the connectivity among mangrove systems in Veracruz and the Reef Corridor of Southwest of Gulf of Mexico (RCSGM). We described the mangrove systems associated to the RCSGM and presented examples of organisms that use both ecosystems in Veracruz. Fishes, birds and marine mammals hold species that uses both habitats. The importance of mackerel, *Caranx hippos*, is highlighted because is a species that use both mangrove system and coral reef in the RCSGM. To elaborate programs of management and conservation of coral reef in Veracruz, is necessary to use a watershed approach. Vertebrate is a key group for the development of such programs for the RCSGM and mangrove systems, but it is still necessary to generate information of ecological processes and basic information in Los Tuxtlas coral reef system as well as the coastal lagoon of Ostión.

**Keywords:** Connectivity, coastal lagoon, management

## INTRODUCCIÓN

Una de las características más importantes de las aguas costeras, en latitudes tropicales y subtropicales, es la presencia de ecosistemas de gran valor ecológico como los arrecifes de coral y los sistemas de manglar. Estos dos ecosistemas no son independientes y, como resultado de su evolución, hoy en día presentan una conexión a través de diferentes procesos, como los ciclos biogeoquímicos y los ciclos de vida de diversos organismos que forman parte de estos ambientes.

Los corales (Clase Anthozoa) datan desde la era paleozoica, pero los corales escleractíneos aparecieron hace 240 millones de años en el periodo triásico medio (Stanley, 2003). Por otra parte, los sistemas de manglar aparecieron hace 100 millones de años en el periodo cretácico tardío (Ellison *et al.*, 1999). La distribución moderna de ambos ecosistemas muestra que, a pesar de la diferencia en

los tiempos geológicos en que se originaron, hoy en día comparten una serie de factores ambientales necesarios para su buen desarrollo y que están ligados físicamente por un elemento importante en la naturaleza: el agua marina. A través de este líquido vital, se han establecido relaciones entre estos dos ecosistemas que actualmente constituyen el soporte vital para otros organismos marinos.

El objetivo de este trabajo es mostrar la importancia de los ecosistemas de manglar asociados al Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) a través del análisis de la información disponible, principalmente sobre macrofauna, en diversas fuentes bibliográficas. En las secciones siguientes se expondrá la información relevante que es evidencia de la relación de estos dos tipos de ecosistemas.

## ARRECIFES Y SISTEMAS DE MANGLAR

La cercanía de los arrecifes de coral con la línea de costa hace que inevitablemente se establezcan relaciones entre los ecosistemas terrestres y las comunidades arrecifales. Principalmente, se establece un flujo de materia orgánica y sedimentos que fluye de la línea costera hacia los arrecifes por diversos factores físicos y biológicos. Entre los factores físicos destaca el aporte de agua dulce por la descarga de los ríos y los escurrimientos de agua de lluvia que fluye directamente de la planicie costera hacia el mar (Devlin & Brodie, 2005). Entre los factores biológicos, se encuentran los procesos que se establecen entre los diversos componentes biológicos de las comunidades de manglar, comunidades costeras y las comunidades estuarinas con los sistemas de arrecife, a través del intercambio de materia orgánica, ciclos de vida de los organismos y relaciones tróficas.

Es bien conocida la importancia que tienen los sistemas de manglar en la dinámica biológica de los arrecifes de coral, principalmente en las redes tróficas (Briand *et al.*, 2015). Por un lado, los sistemas de manglar pueden representar hasta un 57 % de la materia orgánica aprovechada por organismos invertebrados del sistema arrecifal, y hasta un 44% para los corales (Granek *et al.*, 2009). Por otro lado,

los sistemas de manglar proveen refugio a las larvas o estadios juveniles de diferentes organismos que comienzan su ciclo de vida en las lagunas costeras o manglares ribereños, y que después migran a los arrecifes de coral (Mumby *et al.*, 2004; McMahon *et al.*, 2012) representando así sitios de refugio y alimentación temporal que le han dado el reconocimiento como “guarderías” naturales o viveros.

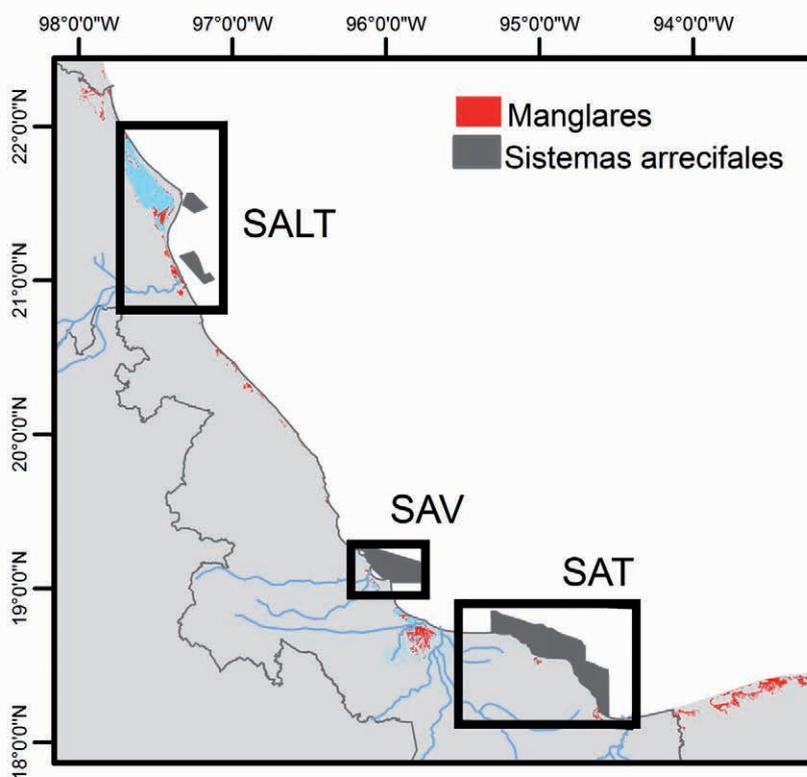
Las relaciones que se establecen entre las comunidades de manglar y los arrecifes de coral pueden resultar muy complejas por la gran variedad de factores que ejercen presión sobre estos sistemas, ya sean físicos o biológicos. Muchas de estas relaciones pueden ser evidentes como la presencia de organismos en ambos ecosistemas, mientras que otras ocurren a nivel de procesos metabólicos y que han sido demostradas mediante el uso de técnicas modernas principalmente en el área de la química (Carreón-Palau *et al.*, 2013; Briand *et al.*, 2015).

La configuración del paisaje marino determina la conectividad que se establece entre diferentes hábitats (McMahon *et al.*, 2012), y la migración de organismos entre éstos determina su funcionalidad como corredores biológicos (Rosenberg *et al.*, 1997).

## EL CORREDOR ARRECIFAL DEL SUROESTE DEL GOLFO DE MÉXICO

El CASGM está constituido por formaciones arrecifales que van desde el norte hasta el sur del estado de Veracruz. Está conformado por tres grandes sistemas denominados: Siste-

ma Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), y Sistema Arrecifal de los Tuxtles (SAT) (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013) (figura 1).



**Figura 1.** El CASGM y los sistemas de manglar asociados.

El SALT se localiza enfrente de la laguna de Tamiahua y el río Tuxpan. Está compuesto por dos polígonos constituidos por 10 arrecifes tanto emergidos como sumergidos (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

El SAV está conformado por 6 islas y 45 arrecifes la mayoría emergidos (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013; 2018) y de manera general se divide en dos subsistemas separados por la influencia del río Jamapa, la cual es muy importante en la exportación de sedimentos en la región.

El SAT se ubica en la región sur de Veracruz y de los tres sistemas arrecifales, es el que representa la mayor extensión a lo largo de la costa por la distancia en que se encuentran los

arrecifes que lo conforman. Está compuesto por 32 formaciones de arrecifes de pequeño tamaño, aunque hay un arrecife de 13 km de largo (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

Diferente número de especies de corales componen a estos tres sistemas arrecifales, y de acuerdo con Ortiz-Lozano *et al.* (2015) hay un total de 40 especies a lo largo del corredor. La consideración de estos arrecifes como un corredor, está basada principalmente en dos características: la conectividad en el paisaje y la movilidad de las especies, y está sustentado en un marco de redes de Áreas Marinas Protegidas (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

## MANGLARES ASOCIADOS A LA REGIÓN DEL CASGM

Los manglares del golfo de México se extienden desde el estado de Tamaulipas hasta la península de Yucatán, incluyendo al mar Caribe. La distribución de los manglares representa prácticamente la línea de costa desde el sitio de manglar denominado La Pesca en Tamaulipas hasta la región de Alvarado en el centro de Veracruz, y posteriormente de la laguna del Ostión en el sur de Veracruz hasta la bahía de Chetumal en Quintana Roo (CONABIO, 2009; Valderrama-Landeros *et al.*, 2017). En el extremo norte del estado de Tamaulipas se encuentra un sitio muy reducido de manglar cercano a playa Bagdad (figura 2).

Los manglares de Veracruz representan los sistemas relacionados al CASGM. Estos manglares pertenecen a sistemas lagunares y estuarinos que se localizan en la misma latitud o próximas a las latitudes donde se encuentran los sistemas de arrecifes. Las especies de mangle que conforman la estructura básica de



Figura 2. Manglares del golfo de México.

estos ecosistemas de manglar son *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* y *Conocarpus erectus* (figura 3).

Asociados al SALT se encuentran los manglares de la laguna de Tamiahua y los manglares de Tuxpan. El primero es un manglar de laguna, mientras que los manglares de Tuxpan están asociados al río del mismo nombre

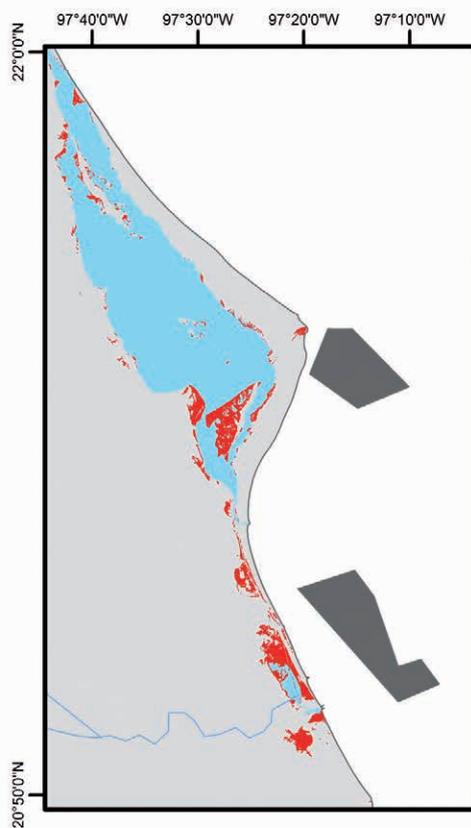


Figura 3. Manglar de Arroyo Moreno. Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle rojo (*Rhizophora mangle*).

y pequeños esteros asociadas a este río. La laguna de Tamiahua tiene un área de 88 000 ha (Contreras, 2010) y se encuentra parcialmente rodeada de un bosque de manglar con un área aproximada de 743 ha (Moreno-Casasola *et al.*, 2002) y está permanentemente conectado con el mar a través de dos canales. El río Tuxpan representa uno de los ríos más importantes del norte de Veracruz con una descarga promedio anual de 2076 millones de m<sup>3</sup> de agua al mar (Melchor-Marroquín y Chagoya-Fuentes, 2016). Cerca de la desembocadura presenta extensiones laterales de cuerpos de agua (esteros de Tumilco y Jacome) rodeados de bosque de manglar, así como una pequeña laguna costera, Tampamachoco, con una extensión de 1 500 ha (Contreras, 2010), con un bosque de manglar de 4 520 ha en total (Lara-Domínguez *et al.*, 2009a) (figura 4).

Asociados al SAV están los manglares del río Arroyo Moreno y de la laguna de Mandinga. Ambos sistemas están conectados con el río Jamapa, que descarga sus aguas en el centro de Veracruz. Arroyo Moreno es un pequeño río en cuyos bordes se desarrolla una comunidad de manglar cubriendo un área aproximada de 308 ha (Aké-Castillo *et al.*, 2016). La laguna de Mandinga tiene un área de 3 250 ha (Contreras, 2010) y se encuentra rodeada por un bosque de manglar con un área de 494 ha (Lara-Domínguez *et al.*, 2009b) (figura 5).

Asociados al SAT se encuentran los sistemas de manglar de la laguna de Sontecomapan y laguna del Ostión. La primera está conectada permanentemente con el mar por un angosto canal. Tiene un área de 943.5 ha y se encuentra rodeada por un bosque de manglar con un área estimada en 533.8 ha (Aké-Castillo *et al.*, 2006). Presenta los manglares más altos y con



**Figura 4.** SALT y sistemas de manglar de la laguna de Tamiahua, laguna de Tampamachoco y esteros que forma el río Tuxpan.

mayor diversidad de todo el golfo de México. La laguna del Ostión, también conectada permanentemente con el mar, tiene una superficie de 1 270 ha (Contreras, 2010) y un área de manglar de 1,356 ha (Lara-Domínguez *et al.*, 2009c) (figura 6).

El sistema de manglar de Alvarado se encuentra localizado entre el SAV y el SAT. Esta laguna es de suma importancia hidrológica puesto que aquí descarga el río Papaloapan, uno de los más importantes del país, y el que presenta el mayor escurrimiento anual de todo el estado de Veracruz con 19 995 millones de m<sup>3</sup> de agua hacia el mar (De la

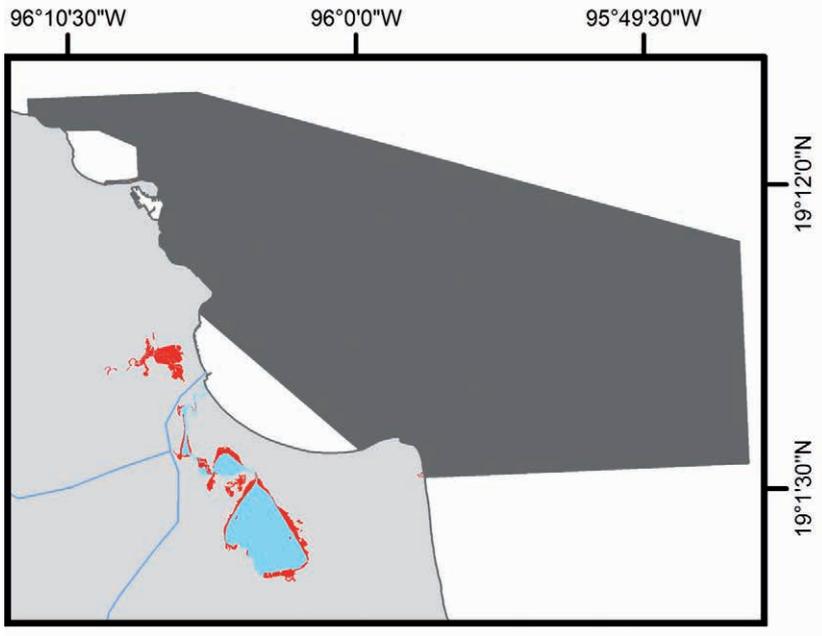


Figura 5. SAV y sistemas de manglar de Arroyo Moreno y laguna de Mandinga.

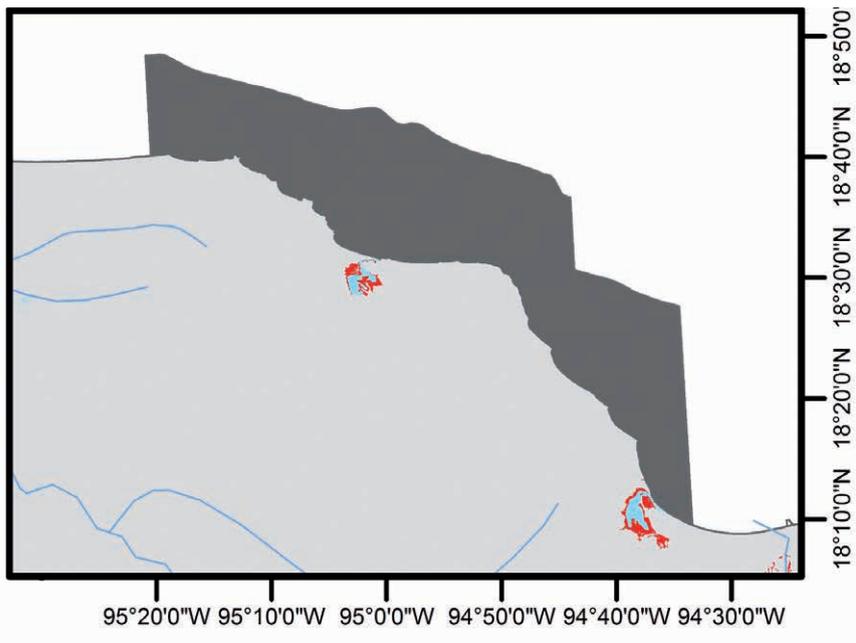


Figura 6. SAV y sistemas de manglar de laguna de Sontecomapan y laguna del Ostión.

Lanza-Espino *et al.*, 2018). A pesar de que no se encuentra localizado en la cercanía de los arrecifes antes mencionados, su influencia en ambos sistemas arrecifales se debe a factores hidrodinámicos como las corrientes, ya que el flujo costero es hacia el sur en otoño-invierno

y hacia el norte en primavera-verano (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003). Todo el sistema lagunar de Alvarado tiene una superficie de 11,800 ha (Contreras, 2010). La extensión de manglar es aproximadamente 19 000 ha (Portilla-Ochoa *et al.*, 2007) (figura 7).

## RELACIÓN ENTRE SISTEMAS DE MANGLAR DEL GOLFO DE MÉXICO Y EL CORREDOR ARRECIFAL

Del análisis de la información disponible, se encontraron diversas evidencias de la relación existente entre los arrecifes y los sistemas de manglar asociados. La tabla 1 muestra un resumen de registros de organismos que utilizan ambos ecosistemas.

El conocimiento generado sobre la taxonomía, biología y biogeografía de diversos organismos en los sistemas de manglar y arre-

cifes veracruzanos, muestran la conectividad existente entre ambos ecosistemas.

El grupo de peces utilizan los sistemas de manglar como áreas de guardería o viveros, donde se llevan a cabo procesos de desove y crecimiento en las primeras etapas de desarrollo. *Lutjanus griseus* utiliza los sistemas de manglar como guardería hasta 4 años y posteriormente migra a los arrecifes (Cocheret

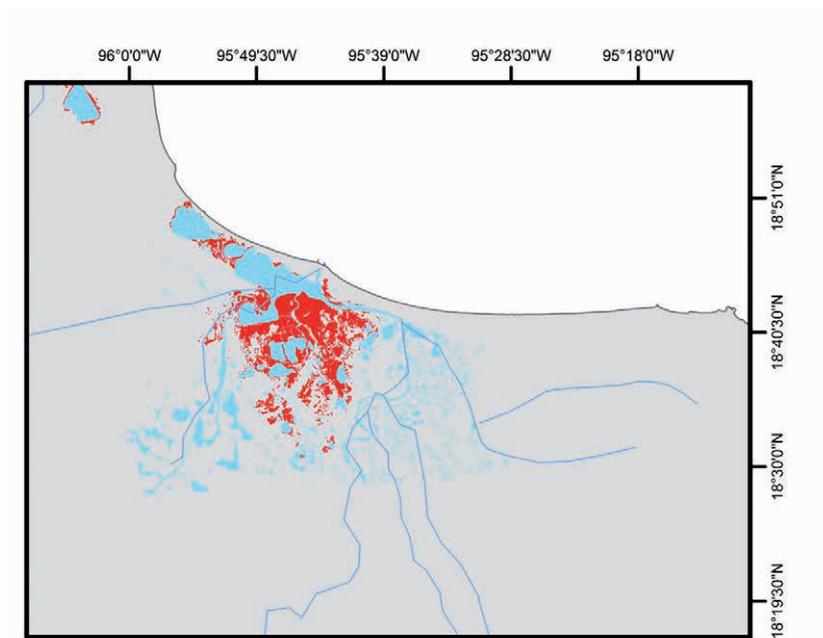


Figura 7. Sistema lagunar de Alvarado y río Papaloapan.

**Tabla 1.** Conectividad biológica entre sistemas de manglar y arrecifes del CASGM.

Grupo	Especie	Arrecife	Sistema de Manglar	Referencia	Función ecológica* Arrecife/ Manglar
Peces	<i>Lutjanus griseus</i>	SALT-Tuxpan, SAV, SAT	Laguna de Tampamachoco; Mandinga; Sontecomapan	Obregón-Barboza,1990; Rangel <i>et al.</i> , 2007; Rodríguez-Valera <i>et al.</i> , 2010; González-Gándara <i>et al.</i> , 2012; CONANP 2018 y	Residencia/ Guardería
Peces	<i>Caranx hippos</i>	SALT, SAV y SAT	Tuxpan, Laguna de Tampamachoco y Laguna de Tamiahua; Manglar Arroyo Moreno y Mandinga	Abarca-Arenas <i>et al.</i> , 2012; Carreón-Palau <i>et al.</i> , 2013	Transferencia de energía a través de materia orgánica
Peces	<i>Epinephelus adscensionis</i>	SAV; SAT	Laguna Mandinga; Sontecomapan	Castro-Aguirre, 1999; Rangel-Avalos <i>et al.</i> , 2007; Rodríguez-Valera <i>et al.</i> , 2010; CONANP, 2018.	Residencia / Guardería
Peces	<i>Sphyraena barracuda</i>	SALT-Tuxpan	Laguna de Tampamachoco	González-Gándara <i>et al.</i> , 2012	Residencia/ Guardería
Peces	<i>Chaetodon ocellatus</i>	SALT	Laguna de Tampamachoco	Abarca-Arenas <i>et al.</i> , 2012	Residente/ Guardería
Aves	<i>Actitis macularius</i>	SALT-Lobos; SAV	Estero Tumilco; Arroyo Moreno	Velarde-González <i>et al.</i> , 2007; Martínez-Villasis, 2010; Serrano <i>et al.</i> , 2013; Arguelles-Jiménez <i>et al.</i> , 2015; ;	Alimentación-Residencia/ Residencia
Aves	<i>Pelecanus occidentalis</i>	SALT; SAV	Tampamachoco; Mandinga	Velarde-González <i>et al.</i> , 2007; Cipriano-Anastacio, 2014; Arguelles-Jiménez <i>et al.</i> , 2015; observación de autores	Alimentación/ Descanso
Peces	<i>Megalops atlanticus</i>	SAV	Laguna de Mandinga	Abarca-Arenas <i>et al.</i> , 2012	Tránsito/ Guardería
Mamífero	<i>Turpsiops truncatus</i>	SALT; SAV-Blanquilla	Laguna de Tamiahua-Tuxpan; Desembocadura Río Jamapa	Martínez-Serrano <i>et al.</i> , 2011; Hernández- Candelario <i>et al.</i> , 2015	Tránsito-residencia/ Alimentación
Aves	<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	SAV	Alvarado	Velarde-González <i>et al.</i> , 2007; Rodríguez-Meza y Villa-Bonilla, 2017	Alimentación/ Descanso

\*inferencia de los autores a partir de literatura: ver texto.

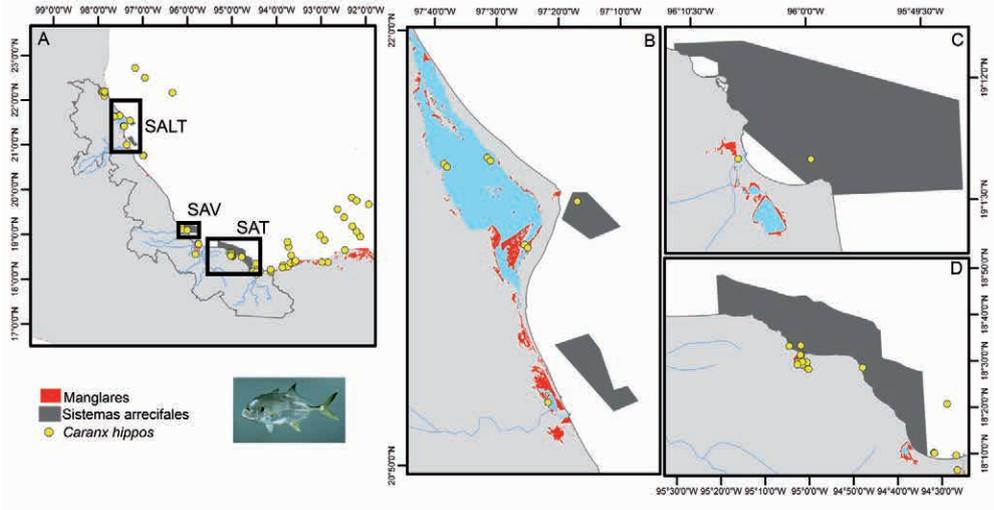
*et al.*, 2002). Esta especie de pargo es común en el corredor arrecifal, así como los sistemas de manglar asociados a éstos. *Sphyraena barracuda* en estado juvenil se encuentra en estuarios con vegetación en el fondo y el desove se lleva a cabo en esos lugares (Blaber, 1982), por lo que posteriormente los adultos de mayor tamaño se vuelven residentes en los arrecifes (Kadison *et al.*, 2010) mientras que los de menor tamaño pueden permanecer en los manglares. Castro-Aguirre (1999) señala que *Epinephelus adscensionis* usa los estuarios en estadios tempranos y después migra a los arrecifes. El sábalo, *Megalops atlanticus*, es una especie de gran valor para la pesca deportiva que es transitoria en los manglares al alimentarse de peces y macroinvertebrados al inicio de su ciclo de vida (Lewis & Gilmore, 2007), unas pocas semanas después sale a aguas más salinas donde realiza largas migraciones pasando por sistemas arrecifales hasta las costas del norte del golfo de México.

Un caso que requiere especial atención es el del jurel, *Caranx hippos*. Estudios recientes han señalado que esta especie de importante valor comercial realiza una transferencia de energía al arrecife, a través del consumo de organismos de niveles tróficos inferiores en manglares cercanos al SAV como la laguna de Mandinga (Carreón-Palau *et al.*, 2013; 2018). Los manglares de la región aportan casi el 30% de la contribución de carbono orgánico que finalmente es aprovechado por los juveniles de *C. hippos* antes de salir a la zona arrecifal cuando llegan a su etapa adulta (Carreón-Palau *et al.*, 2013). Esta alta contribución energética por parte del manglar la adquieren al ingerir invertebrados y pequeños peces que abundan en las lagunas costeras en las que los árboles de mangle son

la vegetación dominante. De acuerdo con los registros de presencia del jurel en la zona del CASGM, esta especie se encuentra en todos los sistemas arrecifales y todos los sistemas de manglar asociados a los mismos (figura 8). En este sentido, es muy probable que este flujo significativo de materia orgánica también se lleve a cabo en otras zonas como en el SALT y el SAT, aunque aún faltan los estudios que lo comprueben; sin embargo, con la evidencia del SAV, es posible inferir el mismo proceso a lo largo del CASGM y sus sistemas de manglar asociados.

De acuerdo a los registros y funciones ecológicas mostradas en la tabla 1, podemos inferir que los peces constituyen el grupo más importante que le da conectividad a los ecosistemas de manglar y arrecifes. González-Gándara *et al.* (2012) muestra al menos 24 especies de peces que habitan la laguna de Tampamachoco y el arrecife Tuxpan. Abarca-Arenas *et al.* (2012) muestran las especies de peces que se registran en los arrecifes del SALT y SAV y sus respectivos sistemas lagunares asociados; un total de 88 especies utilizan en alguna etapa de su ciclo de vida un sistema lagunar costero asociado al manglar y algún arrecife del CASGM. Esto deja de manifiesto el uso de los diferentes ambientes para cubrir las necesidades metabólicas de los organismos a lo largo de su ontogenia.

Para el caso de mamíferos marinos, como los delfines, aun cuando no son visitantes de los sistemas de manglar, ya sea ribereño o de laguna, sí son visitantes frecuentes en las desembocaduras de los ríos o las bocas de las lagunas costeras. Hernández-Candelario *et al.* (2015), encontraron que el delfín nariz de botella se distribuye frecuentemente en la desembocadura del río Jamapa, pero también



**Figura 8.** CASGM, sistemas de manglar asociados y registros de presencia del jurel *Caranx hippos*. Los datos de presencia se obtuvieron de GBIF (<https://doi.org/10.15468/dl.fpwltz>).

se les encuentra en el arrecife Blanquilla (SAV) y en los arrecifes del sur donde encuentran aguas tranquilas. De esta manera, utilizan el paisaje marino para el desarrollo de sus actividades estableciendo una conexión entre los dos ecosistemas.

En el caso de las aves, la conexión que se establece entre los dos ecosistemas está dada principalmente por aves marinas que utilizan los sistemas de manglar como zonas de descanso y los arrecifes como zonas de alimentación. El pelicano café (*Pelecanus occiden-*

*talis*) es un residente en las costas del golfo de México, mientras que el pelicano blanco (*Pelecanus erythrorhynchos*) utiliza los sistemas de manglar como zonas de descanso a través de su ruta migratoria desde Montana, Estados Unidos hasta Veracruz (Hendricks & Johnson, 2002), y los estuarios como zonas de alimentación. Este caso es excepcional, pues además de utilizar los sistemas de manglar como corredor biológico, hace uso también de los recursos que le pueden proporcionar los estuarios cercanos a los arrecifes.

## CONSERVACIÓN DE LOS SISTEMAS ARRECIFALES Y MANGLARES DE VERACRUZ

Los sistemas arrecifales y los sistemas de manglar veracruzanos no deben verse como sistemas aislados longitudinal o latitudinalmente. Los ejemplos señalados muestran que la dependencia arrecife-manglar puede conside-

rarse a su vez como una relación entre dos grandes corredores. Esto implica que para los planes de manejo con énfasis en la protección a la biodiversidad, deben plantearse desde un enfoque que analice la conectividad entre di-

ferentes hábitats para proteger áreas marinas (McMahon *et al.*, 2012; Carreón-Palau *et al.*, 2013; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). Además, la influencia de los ecosistemas terrestres y de transición (manglares) sobre los arrecifes es innegable, por lo que el enfoque de protección a los arrecifes debe hacerse desde una perspectiva de cuenca (Richmond *et al.*, 2007).

En Veracruz, los manglares que representan un corredor costero pertenecen a sistemas lagunares y estuarinos que corresponden a sitios RAMSAR y sitios prioritarios con relevancia biológica y necesidades de rehabilitación ecológica para el desarrollo de programas de conservación de acuerdo con la Comisión

Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2009). El SALT y el SAV son áreas naturales protegidas, pero únicamente el SAV cuenta con un programa de manejo (DOF, 2017).

Cabe destacar que los vertebrados son grupos clave para los planes de manejo de estas áreas protegidas; sin embargo, hace falta estudiar los procesos biológicos y fisicoquímicos involucrados en la conectividad entre los sistemas de manglar y arrecifes veracruzanos, así como generar conocimiento básico en otras zonas de Veracruz, específicamente los arrecifes de los Tuxtlas y manglares de la laguna del Ostión.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Leonardo Ortiz Lozano que compartió información para la elaboración de polígono de arrecifes del SAT y a Rosario Landgrave por facilitar información para la

representación de las lagunas costeras en los mapas. Nuestro agradecimiento al revisor por sus comentarios y sugerencias que mejoraron el manuscrito.

## LITERATURA CITADA

Abarca-Arenas, L.G., J. Franco-López, C. González-Gándara & G. Silva-López, 2012. Los peces de la costa veracruzana: relación especie-área y conectividad entre sitios. En: L.F. Del Moral Flores, J.A. Martínez-Pérez, J. Franco-López, A.J. Ramírez-Villalobos & J.L. Tello-Musi (eds.). *Investigación ictiológica en México Temas selectos en honor al Dr. José Luis Castro Aguirre*. UNAM, FES-I, SIMAC. México.

Aké-Castillo, J.A., G. Vázquez & J. López-Portillo, 2006. Litterfall and decomposition of *Rhizophora mangle* in a coastal lagoon in the southern Gulf of Mexico. *Hydrobiologia*, 559(1):101-111.

Aké-Castillo, J.A., C.F. Rodríguez-Gómez & A. Buendía, 2016. Arroyo Moreno: un manglar en la ciudad. *La Ciencia y el Hombre*. Vol. XXIX (1):10-15.

- Argüelles-Jiménez, J., S. Macías-Hernández, C. González-Gándara, V. de la Cruz-Francisco, C. Domínguez-Barradas & J. Cipriano-Anastasio, 2015. Ornitofauna de los arrecifes coralinos del norte de Veracruz, México, p. 351-366. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 pp.
- Blaber, S.J.M., 1982. The ecology of *Sphyaena barracuda* (Osteichthyes: Perciformes) in the Kosi system with notes on the Sphyaenidae of other Natal estuaries, *South African Journal of Zoology*, 17(4):171-176.
- Briand, M.J., X. Bonnet, C. Goiran, G. Guillou & Y. Letourneur, 2015. Major sources of organic matter in a complex coral reef lagoon: identification from isotopic signatures ( $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ ). *PLoS ONE*, 10(7):e0131555.
- Carreón-Palau, L., C.C. Parrish, J.A. del Ángel-Rodríguez, H. Pérez-España & S. Aguiñiga-García, 2013. Revealing organic carbon sources fueling a coral reef food web in the Gulf of Mexico using stable isotopes and fatty acids. *Limnology & Oceanography*, 58(2):593-612.
- Carreón-Palau, L., C.C. Parrish, H. Pérez-España & S. Aguiñiga, 2018. Elemental ratios and lipid classes in a coral reef food web under river influence. *Progress in Oceanography*, 164(May-June):1-11.
- Castro-Aguirre, J.L., 1999. *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. Ed. Limusa, México. 711 pp.
- Cipriano-Anastasio, J., 2014. Uso del hábitat por aves en un paisaje costero fragmentado en Tampamachoco, Tuxpan, Ver. *Tesis Maestría, Universidad Veracruzana*, Tuxpan, Veracruz. 106 pp.
- Cocheret de la Morinière, E., B.J.A. Polluxa, I. Nagelkerken & G. van der Velde, 2002. Post-settlement life cycle migration patterns and habitat preference of coral reef fish that use seagrass and mangrove habitats as nurseries. *Estuarine, Coastal & Shelf Science*, 55(2):309-321.
- CONABIO, 2009. *Manglares de México: Extensión y distribución*. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la biodiversidad. México. 99 pp.
- CONANP, 2018. *Estudio Previo Justificativo para la declaratoria del Área de Protección de Flora y Fauna Arrecifes de Los Tuxtlas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 180 pp.
- Contreras, F., 2010. *Ecosistemas costeros mexicanos; una actualización*. Universidad Autónoma Metropolitana, México 514 pp.
- De La Lanza Espino, G., R. González-Villela, I.D. González-Mora & S. Hernández-Pulido, 2018. Caudal ecológico de ciertos ríos que descargan al Golfo de México y al Pacífico Mexicano. *Ribagua*, 5(1):3-15.
- Devlin, M.J. & J. Brodie, 2005. Terrestrial discharge into the Great Barrier Reef Lagoon: nutrient behavior in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 51(1-4):9-22.
- D.O.F., 2017. *Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del programa de manejo del área natural protegida con categoría de parque nacional la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano*. Diario Oficial de la Federación. México. 22 mayo 2017. [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5483733&fecha=22/05/2017](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5483733&fecha=22/05/2017)
- Ellison A.M., E.J. Farnsworth & R.E. Merkt, 1999. Origins of mangrove ecosystems and the mangrove biodiversity anomaly. *Global Ecology and Biogeography*, 8(2):95-115.
- Granek E.F., J.E. Compton & D.L. Phillips, 2009. Mangrove-exported nutrient incorporation by sessile coral reef invertebrates. *Ecosystems*, 12(3):462-472.

- González-Gándara, C., V. de la Cruz-Francisco, J. J. Salas-Pérez & C. Domínguez-Barradas, 2012. Lista de los peces de Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3):675-689.
- Hendricks, P. & R.F. Johnson, 2002. *Movements and mortality of American White Pelicans fledged in three Montana colonies*. Report to the U.S. Fish & Wildlife Service. Montana Natural Heritage Program, Helena. 17 pp.
- Hernández-Candelario, I.C., E. Morteo, G. Heckel, O. Sosa-Nishizaki, L.G. Álvarez-Sánchez, O. Flores-Uzeta & I. Martínez-Serrano, 2015. Caracterización de la relación entre la distribución espacio-temporal de los tursiones (*Tursiops truncatus*) y las actividades humanas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Número especial, *E-Bios*, 2(8):34-52.
- Kadison, E., E.K. D'alessandro, G.O. Davis & P.B. Hood, 2010. Age, growth, and reproductive patterns of the great barracuda, *Sphyraena barracuda*, from the Florida Keys. *Bulletin of Marine Science*, 86(4):773-784.
- Lara-Domínguez, A.L., J. López-Portillo, A. Ávila-Ángeles & A.D. Vázquez-Lule, 2009a. Caracterización del sitio de manglar Tuxpan. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (ed.). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. CONABIO, México, D.F.
- Lara-Domínguez, A.L., J. López-Portillo, A. Ávila-Ángeles & A.D. Vázquez-Lule, 2009b. Caracterización del sitio de manglar Mandinga. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (ed.). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. CONABIO, México, D.F.
- Lara-Domínguez, A.L., J. López-Portillo, A. Ávila-Ángeles & A.D. Vázquez-Lule, 2009c. Caracterización del sitio de manglar Laguna Ostión. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) (ed.). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica*. CONABIO, México, D.F.
- Lewis, R.R., y R.G. Gilmore, 2007. Important considerations to achieve successful mangrove forest restoration with optimum fish habitat. *Bulletin of Marine Science*, 80(3): 823-837.
- Martínez-Serrano, I., A. Serrano, G. Heckel & Y. Schramm, 2011. Distribución y ámbito hogareño de toninas (*Tursiops truncatus*) en Veracruz, México. *Ciencias Marinas*, 37(4A):379-392.
- Martínez-Villasis, A., 2010. *Estudio de la avifauna de Arroyo Moreno, Ver. y áreas adyacentes. Tesis Licenciatura. Instituto Tecnológico de Boca del Río*. Boca del Río, Ver. 72 pp.
- McMahon K.W., M.L. Berumena & S.R. Thorrolda, 2012. Linking habitat mosaics and connectivity in a coral reef seascape. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(38):15372-15376.
- Melchor-Marroquín J.I. & J.L. Chagoya-Fuentes, 2016. Diagnóstico de la erosión hídrica en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz, México. *Aqua-LAC*, 8(2):25-35.
- Moreno-Casasola, P., J.L. Rojas-Galaviz, D. Zárate-Lomelí, M.A. Ortiz-Pérez, A.L. Lara-Domínguez & T. Saavedra-Vázquez, 2002. Diagnóstico de los manglares de Veracruz: distribución, vínculo con los recursos pesqueros y su problemática. *Madera y Bosques*, 8(1esp):61-88.
- Mumby P.J., A.J. Edwards, E.A. González, K.C. Lindeman, P.G. Blackwell, A. Gall, M.I. Górczyska, A.R. Harborne, C.L. Pescod, H. Renken, C.C.C. Wabnitz & G. Llewellyn, 2004. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, 427 (6974):533-536.
- Obregón-Barboza H., 1990. Análisis taxonómico y zoogeográfico de los peces de la zona norte y centro del estado de Veracruz, México. *Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León*. 134 pp.

- Ortiz-Lozano L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A.L. Gutiérrez-Velázquez & J. Martos, 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22-32.
- Ortiz-Lozano L., A.L. Gutiérrez Velázquez, A. Granados-Barba & C. González-Gándara, 2015. El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México: retos y oportunidades para el manejo del Sistema Arrecifal Veracruzano. Pp. 303-312. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 pp.
- Ortiz-Lozano, L., C. Colmenares-Campos & A. Gutiérrez-Velázquez, 2018. Submerged coral reefs in the Veracruz Reef System, Mexico, and its implications for marine protected area management. *Ocean & Coastal Management*, 158:11-23.
- Portilla-Ochoa, E., B.E. Cortina-Julio, A.I. Sánchez-Hernández, A. Juárez-Eusebio & C.Y. Negrete-Guzmán, 2007. Fortalecimiento de capacidades locales para la conservación del sitio Ramsar "Sistema lagunar de Alvarado", Veracruz, México. Pp. 255-262. En: G. Halffter, S. Guevara & A. Melic (eds.). *Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica*. SEA, CONABIO, CONANP, CONACYT, INECOL, UNESCO-MaB & Ministerio Medio Ambiente-Gobierno de España. m3m – Monografías Tercer Milenio, vol. 6. S.E.A., Zaragoza. 360 pp.
- Rangel-Ávalos, M.A., L.K. Jordan, B.K. Walker, D.S. Gilliam, E. Carvajal Hinojosa & R.E. Spieler, 2007. *Fish and coral reef communities of the Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Veracruz Coral Reef System National Park) Veracruz, Mexico: preliminary results*. Oceanography Faculty Proceedings, Presentations, Speeches, Lectures. 54. [http://nsuworks.nova.edu/occ\\_facpresentations/54](http://nsuworks.nova.edu/occ_facpresentations/54)
- Richmond, R.H., R. Teina, G. Yimnang, V. Steven, I. Noah, D. Gerry, K. Willy, N. Leinson, M. Hamnett & E. Wolansky, 2007. Watersheds and coral reefs: conservation science, policy, and implementation. *BioScience*, 57(7):598-607.
- Rodríguez-Meza R. & B. Villa-Bonilla, 2017. *Guía de identificación de aves comunes. Sistema lagunar de Alvarado*. Pronatura, A.C. Región Veracruz. México. 169 pp. [https://issuu.com/pronaturaveracruz/docs/gui\\_\\_a\\_aves\\_alvarado\\_final](https://issuu.com/pronaturaveracruz/docs/gui__a_aves_alvarado_final).
- Rodríguez Varela A.C., A. Cruz Gómez & H. Vázquez-López, 2010. List of the ichthyofauna in the Sontecomapan lagoon, Veracruz Mexico. *BIOCYT*, 3:107-121.
- Rosenberg, D.K., B.R. Noon & E.C. Meslow, 1997. Biological corridors: form, function and efficacy. *BioScience*, 47(10):677-687.
- Serrano, A., L. Vázquez-Castán, M. Ramos-Ramos, A. de J. Basáñez-Muñoz & C. Naval-Ávila, 2013. Diversidad y abundancia de aves en un humedal del norte de Veracruz, México. *Acta Zoologica Mexicana*, 29(3):473-485.
- Stanley Jr. G.D., 2003. The evolution of modern corals and their early history *Earth-Science Reviews*, 60(3-4):195-225.
- Valderrama-Landeros, L.H., M.T. Rodríguez-Zúñiga, C. Troche-Souza, S. Velázquez-Salazar, E. Villeda-Chávez, J.A. Alcántara-Maya, B. Vázquez-Balderas, M.I. Cruz-López & R. Ressler, 2017. *Manglares de México: actualización y exploración de los datos del sistema de monitoreo 1970/1980-2015*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, 128 pp.
- Velarde-González, M.E., A. Martínez-Villasis & J.C. Gallardo del Ángel, 2007. Las aves del sistema arrecifal veracruzano, Pp. 27-50. En: A. Granados Barba, L.G. Abarca Arenas & J.M. Vargas-Hernández (eds.). *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche. 304 pp.

Zavala-Hidalgo, J., S.L. Morey & J.J. O'Brien, 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 08(C12):3389, doi:10.1029/2003JC001879.

Castañeda-Chávez, M.R., Á.R. Reyes-Aguilar, J. Montoya-Mendoza y F. Lango-Reynoso, 2019. Presencia de *Pterois volitans* en Área No Protegida en la Costa Central de Veracruz, p. 317-324. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

## Presencia de *Pterois volitans* en Área No Protegida en la Costa Central de Veracruz

*María del Refugio Castañeda-Chávez\**, *Ángel Roberto Reyes-Aguilar*,  
*Jesús Montoya-Mendoza* y *Fabiola Lango-Reynoso*

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Boca del Río

\*mariacastaneda@bdelrio.tecnm.mx

### RESUMEN

El avance que ha generado la presencia del *Pterois volitans* en la región del golfo de México es relevante, debido a que se ha reportado en las costas de los estados de Yucatán, Quintana Roo, Tabasco, Tamaulipas, Campeche y Veracruz. En las costas de este último, se considera que la invasión del pez león ha traspasado a sus principales arrecifes: Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan y Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano ambos pertenecen al Corredor Arrecifal Suroeste del Golfo de México. Se registró un espécimen de *P. volitans* en costa de playa de Chachalacas, municipio de Úrsulo Galván, Veracruz y se comparó la talla del presente registro con los de otros sitios de Veracruz y del golfo de México y se observa en general un aumento considerable en las tallas de *P. volitans* para las costas del golfo de México.

**Palabras clave:** especie exótica invasora, Pez león, Chachalacas, Veracruz.

### ABSTRACT

The Progress of the presence of *Pterois volitans* in the Gulf of Mexico Region is relevant, as it has been reported in the coasts of the states of Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatan and

Quintana Roo. Specifically, in Veracruz, it has been considered that the invasion of lionfish has expanded into the main reef systems, the Lobos Tuxpan Reef System and the Veracruz Reef System National Park, both belonging to the Southwest Reef Corridor of the Gulf of Mexico. One specimen of *P. volitans* was found in the Chachalacas Beach, in the municipality of Ursulo Galvan, and its size was compared to records from others sites of Veracruz and the Gulf of Mexico, finding in general a significant size increase.

**Keywords:** Exotic invasive species, Lion fish, Chachalacas, Veracruz.

## INTRODUCCIÓN

El establecimiento de poblaciones de *Pterois volitans* y *P. miles* en costas occidentales del océano Atlántico, incluyendo las costas del sureste de EUA, golfo de México y mar Caribe, ha sido un proceso irreversible debido al éxito de su establecimiento como especies exóticas invasoras provenientes del Indo-Pacífico (Aguilar-Perera & Tuz-Sulub, 2010; Sosa-López *et al.*, 2017). Se ha confirmado su establecimiento desde su primer registro en el año 1985 para la costa de Dania, Florida, EUA (Morris & Akins, 2009), ampliando su distribución desde latitudes templadas en la costa de New York, EUA (Scott *et al.*, 2005) hasta latitudes tropicales con un registro relativamente reciente para las costas de Brasil (Ferreira *et al.*, 2015), y en aguas más profundas (Gress *et al.*, 2017).

Para las costas de México, los registros del pez león han sido ubicados al norte de la pe-

nínsula de Yucatán en el año 2009 (Aguilar-Perera & Tuz-Sulub, 2010), posteriormente fue registrado en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM) en el Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT) y en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) (González-Gándara *et al.*, 2012; Santander-Monsalvo *et al.*, 2012). Para Tabasco fue registrado en los años 2013 y 2014 (Wakida-Kusunoki & Amador del Ángel, 2015), posteriormente para costas de Tamaulipas (Arellano-Méndez *et al.*, 2017) y en las costas de Campeche (Sosa-López *et al.*, 2017). El propósito del presente trabajo consistió en el registro de *P. volitans* en costa central del estado de Veracruz, la cual evidencia la presencia de esta especie en los arrecifes intermedios a los grandes sistemas arrecifales del CASGM.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El espécimen de pez león se colectó mediante buceo libre por parte de pescadores locales en playa Chachalacas, Municipio de Úrsulo Galván (Longitud: -96.3228000, Latitud: 19.4235200) (figura 1), que se localiza a 35.6 km del sitio de registro del pez león en el arre-

cife Anegada de Adentro en el PNSAV con ubicación en la costa central del estado de Veracruz (DOF, 2017), se señala también el sitio del registro del pez león por Aguilar-Perera y Tuz-Sulub (2010) y de Santander-Monsalvo *et al.* (2012). El espécimen capturado se pre-

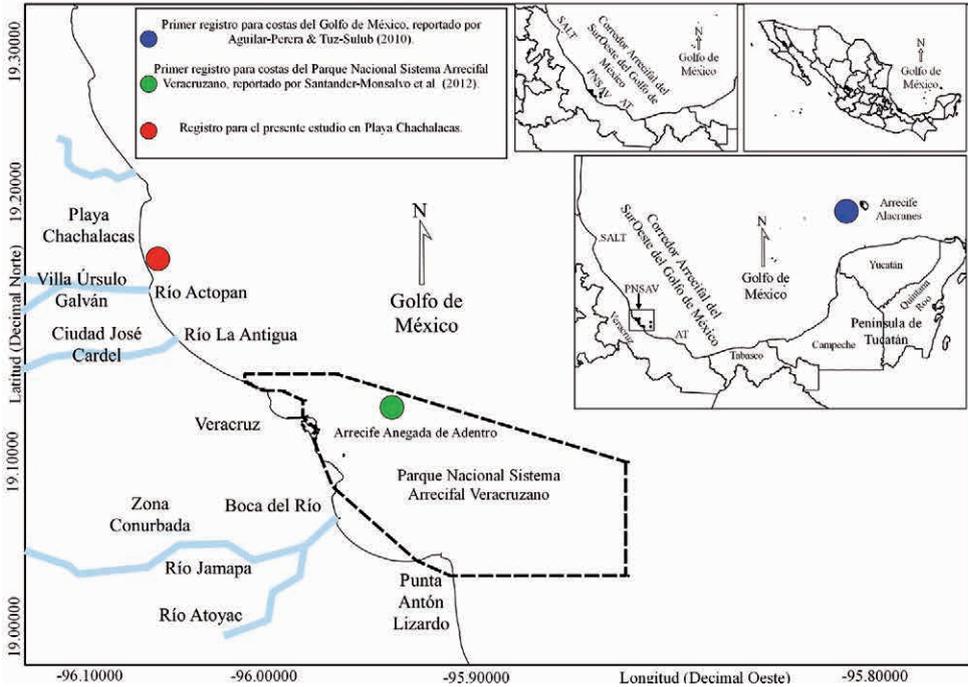


Figura 1. Localización del sitio de colecta del pez león en playa Chachalacas, Úrsulo Galván, Veracruz, México.

servó en hielo y se trasladó en un contenedor de plástico al Laboratorio de Investigación de Recursos Acuáticos (lira) del Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA). Se identificó al pez de acuerdo a Schultz (1986) y se registraron los datos morfológicos de longitud

total y longitud patrón en cm y el peso total en g de acuerdo a Aguilar-Perera *et al.* (2015). Además, se comparó la talla de *P. volitans* del presente estudio con registros previos en el litoral veracruzano.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El espécimen capturado fue un organismo adulto de longitud total (LT): 34 cm; longitud patrón (LP): 26.8 cm y peso total (PT): 622.8 g, (figura 2). La captura del espécimen se ubicó al norte del registro del pez león por Santander-Monsalvo *et al.* (2012) en el arrecife Anegada de Adentro en el PNSAV. El presente registro, casi adyacente al Puerto de Ve-

racruz y bastante más alejado del registro en Lobos-Tuxpan reportado por González-Gándara *et al.* (2012), coincide con lo señalado por Selwyn *et al.* (2017) quienes reportaron que la invasión del pez león ocurre mediante posibles rutas de dispersión de larvas de *Pterois* spp., para la costa oeste del Atlántico, que incluye principalmente a sistemas arrecifales



**Figura 2.** *Pterois volitans* (LT, 34 cm) colectado en playa Chachalacas, Úrsulo Galván, Veracruz, México.

tanto del Caribe como del golfo de México, como lo es el CASGM (Salas-Monreal *et al.*, 2017), por lo que también se consideró que la presencia del pez león en México incluye actualmente todos los estados con estos litorales y sólo faltará registrar más avistamientos en sitios que han favorecido su establecimiento como arrecifes emergidos y sumergidos, así como sustratos no coralinos (Wakida-Kusunoki & Amador del Ángel, 2015).

Las máximas tallas del género *Pterois* como especie exótica invasora en el panorama internacional se encuentran en el intervalo de 400 a 460 mm, y en orden decreciente 457>450>448>425>424 registradas por Ehemann (2017), Whitfield *et al.* (2007), Johnson y Swenarton (2016), Farquhar (2016) y Morris & Akins (2009), respectivamente. En lo que respecta a la situación en México se han registrado especímenes desde los 62 mm hasta los 405 mm y en orden descendente 405>397>397>390>389, registradas por

Acevedo-Lezama (2015), Montoya-Mendoza *et al.* (2017), Reyes-Aguilar *et al.* (2018), Aguilar-Perera *et al.* (2013) y Rodríguez-Cortés *et al.* (2015), respectivamente.

Como se observa en la tabla 1, la captura de *P. volitans* en playa Chachalacas complementa los registros de esta especie en la costa central de Veracruz, para el CASGM que incluye al SALT y al PNSAV y que, en términos de la línea de costa, augura un escenario poco alentador debido al establecimiento del pez león en estos sistemas arrecifales, debido a su característica oportunista de amplia gama de presas de consumo, y que se está adaptando a condiciones tanto templadas como tropicales (Scott *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2015). Se han reportado con mejor éxito en zonas costeras con arrecifes en el golfo de México y Caribe (Johnston *et al.*, 2016), como es el caso del CASGM, donde se han registrado especímenes de tallas juveniles y adultos; que si bien, no han alcanzado las “tallas récord” (457

**Tabla 1.** Registros de tallas para *Pterois volitans* en el CASGM.

Año	Tallas (intervalo en mm)	Sitio de colecta	Fuente (n = número de organismos)
2009	137	AP-PAA, Yucatán	Aguilar-Perera y Tuz-Sulub (2010) (n=1)
2011	185	PNSAV, Veracruz	Santander-Monsalvo <i>et al.</i> (2012) (n=1)
2013-2014	92-405	PNSAV, Veracruz	Acevedo-Lezama (2015) (n=656)
2012-2013	62-300	SALT, Veracruz	González-Gándara <i>et al.</i> (2016) (n=37)
2016-2017	90-397	PNSAV, Veracruz	Montoya-Mendoza <i>et al.</i> (2017) (n=78)
2016	157-397	PNSAV, Veracruz	Reyes-Aguilar <i>et al.</i> (2018) (n=30)
2018	340	Playa de Chachalacas, Úrsulo Galván, Veracruz	Presente estudio (n=1)

AP-PAA, Arrecife Pacharela, Parque Arrecife Alacranes; PNSAV, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano; SALT, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan.

mm), si han alcanzado tallas importantes (ver tabla 1), que implica el potencial de los impactos del desarrollo de peces con esas tallas junto con el crecimiento de las poblaciones del pez león sobre poblaciones de especies de importancia ecológica o comercial propias de los arrecifes del CASGM (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

Resalta que las tallas del pez león en los primeros registros fueron menores a 20 mm; sin embargo, en registros recientes ya se han reportado organismos con el doble de talla, sin alcanzar los valores registrados por Ehemann (2017) con 457 mm en las costas de Venezuela, que incluso supera la talla registrada en or-

ganismos en la zona endémica de la especie en el Indo-Pacífico con 380 mm (Randall *et al.*, 1990). Por lo que *P. volitans* en los litorales de la costa occidental del Atlántico está alcanzando tallas mayores y aumentos considerables en las poblaciones, debido posiblemente a la falta de un depredador natural y la ausencia de programas de control y manejo del pez león. Dichos programas pueden rendir frutos a corto y mediano plazo en beneficio de las comunidades arrecifales y de las comunidades de pescadores de estos litorales, que posiblemente han visto mermadas las capturas de peces de importancia comercial (Chagaris *et al.*, 2017; Harms-Tuohy *et al.*, 2018).

## CONSIDERACIONES FINALES

Al confirmarse la presencia de *Pterois* spp., en costas pertenecientes a Úrsulo Galván, se puede referir una invasión general en costas

de Veracruz en el Corredor Arrecifal Suroeste del Golfo de México, siendo necesario contemplar los riesgos que puede desencadenar

esta problemática, tanto en aspectos ambientales como socioeconómicos. El registro del pez león en esta área no protegida, permite señalar que se deberán de implementar acciones

de información sobre esta especie invasora a poblaciones de pescadores de estos litorales y generar información para evaluar a las poblaciones de *P. volitans*.

## LITERATURA CITADA

- Acevedo-Lezama, D., 2015. Ecología alimentaria del pez león (*Pterois* spp.) en el Sistema Arrecifal Veracruzano, Suroeste del Golfo de México. *Tesis Licenciatura en Biología, Instituto Tecnológico de Boca del Río*. Boca del Río, Veracruz, 40 pp.
- Aguilar-Perera, A. & A. Tuz-Sulub, 2010. Non-native, invasive red lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]: *Scorpaenidae*), is first recorded in the southern Gulf of Mexico, off the northern Yucatan Peninsula, Mexico. *Aquatic Invasions*, 5: S9-S12. doi:10.3391/ai.2010.5.S1.003
- Aguilar-Perera, A., L. Perera-Chan & L. Quijano-Puerto, 2013. Record body size for the red lionfish, *Pterois volitans* (*Scorpaeniformes*), in the Southern Gulf of Mexico. *Gulf and Caribbean Research*, 25:121-123. <https://doi.org/10.18785/gcr.2501.10>
- Aguilar-Perera, A., L. Quijano-Puerto & E. Carrillo-Flota, 2015. *Manual de técnicas para disección del pez león Pterois volitans del Suroeste del Golfo de México*. Fundación UADY-CONANP-CCBA. Universidad Autónoma de Yucatán. 36 pp.
- Arellano-Méndez, L.U., A. Mora-Olivo, C. Zamora-Tovar & E. de la Rosa-Manzano, 2017. First report of the invasive red lionfish *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) (*Scorpaenidae*) on the coast of Tamaulipas, Mexico. *Rapid Communication, BioInvasions Records*, 6(3):255-258. DOI: <https://doi.org/10.3391/bir.2017.6.3.11>
- Chagaris, D., S. Binion-Rock, A. Bogdanoff, K. Dahl, J. Granneman, H. Harris, J. Mohan, M.B. Rudd, M.K. Swenarton, R. Ahrens, W.F. Patterson III, J.A. Morris & M. Allen, 2017. An ecosystem-based approach to evaluating impacts and management of invasive lionfish. *Fisheries*, 42(8):421-431. doi.org/10.1080/03632415.2017.1340273
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2017. Programa de Manejo del Área Natural Protegida Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicado 22 de mayo de 2017.
- Ehemann, N.R., 2017. A new western Atlantic size record for *Pterois volitans* (Actinopterygii: Scorpaeniformes: Scorpaenidae) with new morphological data on head spinules. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 47(3): 297-301. DOI:10.3750/AIEP/02149
- Farquhar, S.D., 2016. Age and growth of invasive lionfish: North Carolina, USA vs Bonaire, Dutch Caribbean. *Proceedings of the 69th Gulf and Caribbean Fisheries Institute*, 69:1-6. [www.dcbd.nl/sites/www.dcbd.nl/files/documents/Farquhar\\_0.pdf](http://www.dcbd.nl/sites/www.dcbd.nl/files/documents/Farquhar_0.pdf)
- Johnson, E.G. & M.K. Swenarton, 2016. Age, growth and population structure of invasive lionfish (*Pterois volitans*/miles) in northeast Florida using a length-based, age-structured population model. *PeerJ*, 4:e2730. doi:10.7717/peerj.2730
- Ferreira, C.E.L., O.J. Luiz, S.R. Floeter, M.B. Lucena, M.C. Barbosa, C.R. Rocha & L.A. Rocha, 2015. First record of invasive lionfish (*Pterois volitans*) for the Brazilian Coast. *PLoS ONE*, 10(4):e0123002. doi.org/10.1371/journal.pone.0123002

- González-Gándara, C., V. De La Cruz-Francisco, J.J. Salas-Pérez & C. Domínguez-Barradas, 2012. Lista de peces de Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(3):675-689. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4690112.pdf>
- González-Gándara, C., A.L.G. Abarca, V. de la Cruz, J.J. Argüelles & P.J.J., Salas, 2016. La colección de peces de la Universidad Veracruzana. En: L.F. Del Moral-Flores, Á.J. Ramírez-Villalobos, J.A. Martínez-Pérez, A.F. González-Acosta y J. Franco-López (Coords.). Colecciones Ictiológicas de Latinoamérica. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Sociedad Ictiológica Mexicana A.C. 886 pp.
- Gress E., D.A. Andradi-Brown, L. Woodall, P.J. Schofield, K. Stanley & A.D. Rogers, 2017. Lionfish (*Pterois* spp.) invade the upper-bathyal zone in the western Atlantic. *PeerJ*, 5:e3683. DOI 10.7717/peerj.3683
- Harms-Tuohy, C.A., R.S. Appeldoorn & M.T. Craig, 2018. The effectiveness of small-scale lionfish removals as a management strategy: effort, impacts and the response of native prey and piscivores. *Management of Biological Invasions*, 9(2):149-162. <https://doi.org/10.3391/mbi.2018.9.2.08>
- Johnston, M.W., A.M. Bernard & M.S. Shivji, 2016. Forecasting lionfish sources and sinks in the Atlantic: are Gulf of Mexico reef fisheries at risk? *Coral Reefs*, 36(1):169-181. doi:10.1007/s00338-016-1511-3.
- Montoya-Mendoza, J., T. Camarena-Luhrs, M.R. Castañeda-Chávez & F. Lango-Reynoso, 2017. Helminth parasites of red lionfish, *Pterois volitans* from the Veracruz Coral Reef System, Mexico, Southern Gulf of Mexico. *Journal of Agricultural Science*, 9(11):30-33. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n11p30>
- Morris, J.A., Jr. & J.L. Akins, 2009. Feeding ecology of invasive lionfish (*Pterois volitans*) in the Bahamian archipelago. *Environmental Biology of Fishes*, 86:389-398. <https://doi.org/10.1007/s10641-009-9538-8>
- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Grana-dos-Barba, C. González-Gándara, A. Gutiérrez-Velázquez & J. Martos, 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22-32. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.10.006>
- Randall, J.E., G.R. Allen & R.C. Steene, 1990. *Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea*. University of Hawaii Press, Honolulu, HI, USA. 557 pp.
- Reyes-Aguilar, A.R., M.R. Castañeda-Chávez, J. Montoya-Mendoza, F. Lango-Reynoso, R.E. Zamudio-Alemán & J. Ramos-Miranda, 2018. Morphometry of *Pterois volitans* (Linnaeus, 1758) in the Veracruz Reef System in the Central Zone of the Gulf of Mexico. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal*, 5(5):555673. DOI: 10.19080/OFOAJ.2018.05.555673
- Rodríguez-Cortés, K.D., A. Aguilar-Perera & J.L. Bonilla-Gómez, 2015. Growth and mortality of red lionfish, *Pterois volitans* (*Actinopterygii: Scorpaeniformes: Scorpaenidae*), in the Parque Nacional Arrecife Alacranes, southern Gulf of Mexico, as determined by size-frequency analysis. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 45(2):175-179. DOI: 10.3750/AIP2015.45.2.07
- Salas-Monreal, D., M. Marín-Hernández, J. Salas-Pérez, D. Salas-de León, A. Monreal-Gómez & H. Pérez-España, 2017. Coral reef connectivity within the Western Gulf of Mexico. *Journal of Marine Systems*, 179:88-99. doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.12.001
- Santander-Monsalvo, J., I. López-Huerta, A. Aguilar-Perera & A. Tuz-Sulub, 2012. First record of the red lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]) off the coast of Veracruz, Mexico. *Bioinvasions Records*, 1(2):121-124. <http://dx.doi.org/10.3391/bir.2012.1.2.07>
- Schultz, E.T., 1986. *Pterois volitans* and *Pterois miles*: two valid species. *Copeia*, 3:686-690. DOI: 10.2307/1444950

- Scott, M.H., D.M., Wyanski, K., Loefer, S.W., Ross, A.M., Quattrini & K.J., Sulak. 2005. Further evidence for the invasión and establishment of *Pterois volitans* (Teleostei: Scorpaenidae) along the Atlantic Coast of the United States. *Southeastern Naturalist*, 4(2): 193-206.
- Selwyn, J.D., J.E. Johnson, A.M. Downey-Wall, A.M. Bynum, R.M. Hammer, J.D. Hogan & C.E. Bird, 2017. Simulations indicate that scores of lionfish (*Pterois volitans*) colonized the Atlantic Ocean. *PeerJ*, 5:e3996; DOI 10.7717/peerj.3996
- Sosa-López A., P. Juárez-Camargo, R. Del Río-Rodríguez, L.A. Ayala-Pérez, C.U. Romero-Herrera & M.I. Gómez-Solano, 2017. First record of invasive red lionfish (*Pterois volitans* [Linnaeus, 1758]: *Scorpaenidae*) in waters of a natural protected area from Campeche, México. *E-BIOS*, 1(13):10-15.
- Wakida-Kusunoki, A.T. & L.E. Amador del Ángel, 2015. First record of the red lionfish, *Pterois volitans*, on the coast of Tabasco, Mexico. *Hidrobiológica*, 25(2):307-309. <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v25n2/0188-8897-hbio-25-02-00307.pdf>
- Whitfield, P.E., J.A. Hare, A.W. David, S.L. Harter, R.C. Muñoz & C.M. Adison, 2007. Abundance estimates of the Indo-Pacific lionfish *Pterois volitans/miles* complex in the Western North Atlantic. *Biological Invasions*, 9:53-64. Doi:10.1007/s10530-006-9063-z.

Jordán-Garza A.G., C. González-Gándara, J.J. Salas-Pérez y J. Bazaldua-Fajardo, 2019. Clave para el Diagnóstico en Campo de Enfermedades de Corales Escleractinios en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, p. 325-344. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

# Clave para el Diagnóstico en Campo de Enfermedades de Corales Escleractinios en El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz

*A.G. Jordán-Garza\**, *C. González-Gándara*,  
*J.J. Salas-Pérez y J. Bazaldua-Fajardo*

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Tuxpan. Universidad Veracruzana.

\*ajordan@uv.mx.

## RESUMEN

Las enfermedades de coral tienen el potencial de cambiar las poblaciones y los ensambles de los corales escleractinios afectados; sin embargo, su diagnosis puede ser subjetiva ya que se basa en la descripción de signos obvios a simple vista. Un análisis de conglomerados con base en características de distintas enfermedades de corales del Atlántico se usó para mostrar cómo se agrupan los distintos signos según sus descripciones pero no su etiología. Usando esta información se generó una clave dicotómica para diagnosticar las enfermedades de coral más comunes de corales del Atlántico. Además, con base en colonias identificadas a partir de videotransectos se estimó la diversidad de signos y su prevalencia general en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) en el 2012. La prevalencia general de 9 distintos signos de enfermedades en los arrecifes del SALT fue alta (26 %). Una diagnosis lo más acertada posible es indispensable para identificar las causas de las epizootias y poder tomar medidas adecuadas de manejo, como cierres temporales o manipulación de colonias enfermas.

**Palabras clave:** enfermedades, coral, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan.

## ABSTRACT

Coral diseases can potentially change coral populations and assemblages. Yet, coral disease diagnosis can be subjective given that it is based on the description of macroscopic signs. To show how different diseases form groups given their descriptions but not their etiology, a cluster analysis based on their main characteristics was used. Following this classification, a dichotomic key was built to help diagnose the most common coral diseases on the Atlantic. In addition, based on colonies counted on video-transects, the diversity and prevalence of coral diseases was estimated for the Lobos-Tuxpan reef system in 2012. General prevalence of 9 distinct coral-disease signs in the Lobos-Tuxpan reef system was high (26 %). Improving disease diagnosis is dire to help identify potential causes of disease epizootics and being able to implement adequate management measures, like temporal closures or manipulation of diseased colonies.

**Keywords:** Diseases, coral, Lobos-Tuxpan Reef System, Western Gulf of Mexico.

## INTRODUCCIÓN

A nivel global los arrecifes coralinos han sufrido un grave deterioro por causas naturales y aquellas relacionadas con actividades humanas (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Hughes *et al.*, 2010). Este deterioro se refleja en la pérdida de cobertura coralina que había sido de hasta un 50 % en la gran barrera australiana (Bruno & Selig 2007; Dea'th *et al.*, 2012) con un 30 % adicional después de los eventos de blanqueamiento masivos del 2015-2016 (Hughes *et al.*, 2018; Stuart-Smith *et al.*, 2018); en más de un 80 % en el Caribe (Gardner *et al.*, 2003; Jackson *et al.*, 2014) y un 50 % en arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (Horta-Puga *et al.*, 2015). Aunque son varias las causas implicadas en la pérdida de cobertura coralina, las enfermedades son, probablemente, una de las mayores amenazas para los corales por su distribución universal y la velocidad a la que pueden diezmar poblaciones enteras (Aronson *et al.*, 1998; Harvell *et al.*, 1999), particularmente en el Caribe, golfo de México y Florida (Hughes 1994; Aronson y Precht 2001; Harvell *et al.*, 2007; Carricart-Ganivet *et al.*, 2011; Ruiz-Moreno *et al.*, 2012; Precht *et al.*, 2016).

La prevalencia de enfermedades en ambientes arrecifales ha aumentado en los últimos 40 años (Lafferty *et al.*, 2004) y diversas epizootias han tenido efectos catastróficos en las poblaciones de corales (Aronson y Precht 2001; Bruckner y Bruckner, 2006). A pesar de los avances para caracterizar las causas de estos incrementos, como el aumento en la presencia y virulencia de patógenos así como el efecto de variables ambientales (Sutherland *et al.*, 2011), aún se discute si el incremento en enfermedades de coral es el resultado de la introducción de patógenos por causas humanas (Patterson *et al.*, 2002; Sutherland *et al.*, 2004; 2011; Pollock *et al.*, 2014; Vega-Thurber *et al.*, 2014) o es un efecto secundario causado por un sistema inmune coralino deteriorado por el estrés ambiental, principalmente de tipo térmico, ocasionado por el rápido calentamiento de los océanos (Lesser *et al.*, 2007; Muller *et al.*, 2008; Randall *et al.*, 2014; Lesser & van Woosik 2015). El lento avance en el estudio de las enfermedades puede deberse, en parte, a la dificultad que presenta diagnosticar los distintos tipos de enfermedades. En una revisión de la literatura

Work & Meteyer (2014) mostraron que de 492 artículos el 65 % utilizó únicamente la descripción de los signos para diagnosticar las enfermedades de coral. Esto es problemático dado que la interpretación de signos puede, en la práctica, ser subjetiva o mal interpretada por el observador.

El tejido de los corales posee un tipo de organización relativamente sencillo, que puede resultar en signos similares provocados por causas distintas (Rosenberg *et al.*, 2007; Sweet *et al.*, 2011); sin embargo, hasta que no se resuelvan los problemas de diagnóstico y se desarrollen pruebas sencillas, como las que existen para plantas (Lievens & Thoma 2005), la diagnosis por medio de signos

seguirá siendo el mejor método para estudios de epizootias coralinas. Aunque existen diversas descripciones y guías de los signos en la literatura (Woodley *et al.*, 2003; Raymundo *et al.*, 2008), la información está dispersa y publicada en idioma inglés. Por ello, este trabajo hace una revisión de la información disponible para cada tipo de signo de enfermedades de corales en el Atlántico, clasificándolos según sus similitudes. Además, se presenta la información en forma de una clave dicotómica que permite identificar eficientemente los distintos signos de enfermedades y se discute la diversidad de signos en los arrecifes del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) presentes en 2012.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda de artículos científicos que describan signos de enfermedades de corales escleractinios del Atlántico y sus posibles etiologías usando buscadores científicos (*Google Scholar, PubMed*). La información se resumió en un cuadro que contiene información sobre: i. La descripción del signo, ii. Los hospederos conocidos, iii. La distribución geográfica, iv. Los patógenos asociados, v. Los modos de transmisión, vi. Las tasas de avance, vii. Los factores asociados a la virulencia y viii. Los factores asociados a la prevalencia. Con base en el conocimiento sobre los distintos signos se crearon variables ficticias (“*dummy variables*”) para describir i. La forma de la lesión, ii. El tipo de lesión, iii. La forma del borde de la lesión, iv. La tasa de avance, v. El tipo de patógeno asociado, vi. El rango de hospederos, vii. Los modos de transmisión,

viii. Los factores ambientales asociados y ix. La presencia de mortalidad reciente (tabla1).

Esta información se utilizó para crear una matriz de signos y variables ficticias que fue analizada por medio de un análisis de conglomerados utilizando el índice de Bray-Curtis y la regla del promedio para formar los grupos (James & McCulloch, 1990). El análisis se realizó en programa PAST 3.2 (Hammer *et al.*, 2001). El conglomerado resultante fue utilizado para seleccionar las principales categorías de caracteres descriptivos para organizar la clave dicotómica de signos de enfermedades. La clave funciona tomando decisiones sobre la apariencia de los signos. Es de hacerse notar que algunos signos no pueden diferenciarse sin información de la tasa de avance. Además, existen signos que no son causados por enfermedades de coral sino por otras in-

**Tabla 1.** Variables ficticias utilizadas para el análisis de conglomerados de los signos de enfermedades. Se tomaron en cuenta características de la apariencia del signo, su virulencia, hospederos, patógenos potenciales y variables ambientales asociadas.

Descriptor	Características	Variable Ficticia	Descriptor	Características	Variable Ficticia
Forma de la lesión	Otro/Desconocido	0	Hospedero	Otro/Desconocido	0
	Banda	1		Pocas (< 5 especies)	1
	Banda/Parche	2		Moderado (5 a 10 especies)	2
Tipo de lesión	Parche/Lunar	3	Transmisión	Muchas (> 10 especies)	3
	Otro/Desconocido	0		Otro/Desconocido	0
	Pérdida de tejido	1		Columna de agua	1
	Crecimiento anómalo	2		Biológico	2
Borde de lesión	Blanqueamiento de tejido	3	Variables ambientales	Columna de agua y biológico	3
	Pigmentación de tejido	4		Sólo en laboratorio	4
	Otro/Desconocido	0		No es transmisible	5
	Discreto	1		Otro/Desconocido	0
	Difuso	2		Luz	1
Tasa de avance	Otro/Desconocido	0	Mortalidad reciente	Temperatura	2
	Lento (<0.1 cm/día)	1		Nutrientes	3
	Moderado (0.1 to < 1cm/día)	2		Varios	4
	Rápido (> 1 cm/día)	3		Presente	1
Patógeno	Desconocido	0	Mortalidad reciente	Ausente	0
	Bacteria	1			
	Virus	2			
	Consortio	3			
	Ciliados	4			
	Sin patógeno	5			
Otro	6				

teracciones (*e.g.* depredación) o signos que no han sido descritos y podrían, o no, ser causa de enfermedad.

Se reporta la diversidad de signos observados en el SALT derivados de un muestreo en 2012 (Randall *et al.*, 2014). Se analizaron 18 cuadrantes de 10x10 m colocados al azar en

la zona de sotavento somero en los seis arrecifes emergentes del conjunto. Los cuadrantes fueron grabados por transectos de 10x1 m con una cámara Canon Vixia HF M30 en una carcasa sumergible Canon WP-V2. En cada transecto se identificó la especie de coral y los signos presentes.

## RESULTADOS

Se reconocen en la literatura un total de 15 signos de enfermedades distintos que pueden relacionarse con alguna alteración fisiológica del coral, incluyendo el blanqueamiento térmico (tabla 2). De éstos, la mayoría han sido descritos a detalle en la literatura científica, exceptuando los signos amarillos y signos blanqueados que han sido poco estudiados, pero que se asocian con pérdida de tejido (datos no publicados). En general, los signos se caracterizan por la forma y tipo de lesión que producen, la forma de su borde, la tasa de avance (es decir la tasa a la que se pierde el tejido), si han sido asociados con algún tipo de patógeno, el número de hospederos que afectan, su modo de transmisión, su relación con variables ambientales y por la presencia de mortalidad reciente. A todas estas características se les asignó un valor para generar variables ficticias y la matriz de signos y variables ficticias se usó para generar un conglomerado (figura 1). La primera división forma dos gru-

pos (A y B, ver figura 1) que se separan por la presencia de mortalidad reciente en los signos en el grupo A y su ausencia en el grupo B. Se forman además cinco grupos secundarios (I a V, ver figura 1). Esta clasificación se utilizó como guía para generar la clave dicotómica ilustrada (tabla 3).

En los 18 cuadrantes (180 transectos) repartidos al azar en los seis arrecifes emergentes del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, se contaron 24 863 colonias entre las cuales había 19 especies de corales escleractinios y un hidrozoario.

Nueve signos fueron identificados afectando las colonias de coral del SALT: anomalías del crecimiento, banda negra, infección por ciliados (*Hallofoliculina*), síndrome de lunares oscuros, mancha blanca, blanqueamiento parcial, plaga blanca, signo amarillo y signo blanco. De las colonias registradas, 6 862 (26.01 %) mostraron algún signo en el año 2012.

## DISCUSIÓN

Con base en las características generales de los signos de enfermedades el análisis de conglomerados formó dos grandes grupos que se separan en función de la presencia de mortalidad reciente y cinco grupos más pequeños (figura 1). Los signos en el grupo I se caracterizan por su forma de banda y coloración oscura, los signos del grupo II tienen en común afectar pocos hospederos y bordes bien definidos, aunque en el caso de los ciliados móviles el número de observaciones en campo es insuficiente (Randall *et al.*, 2015). En

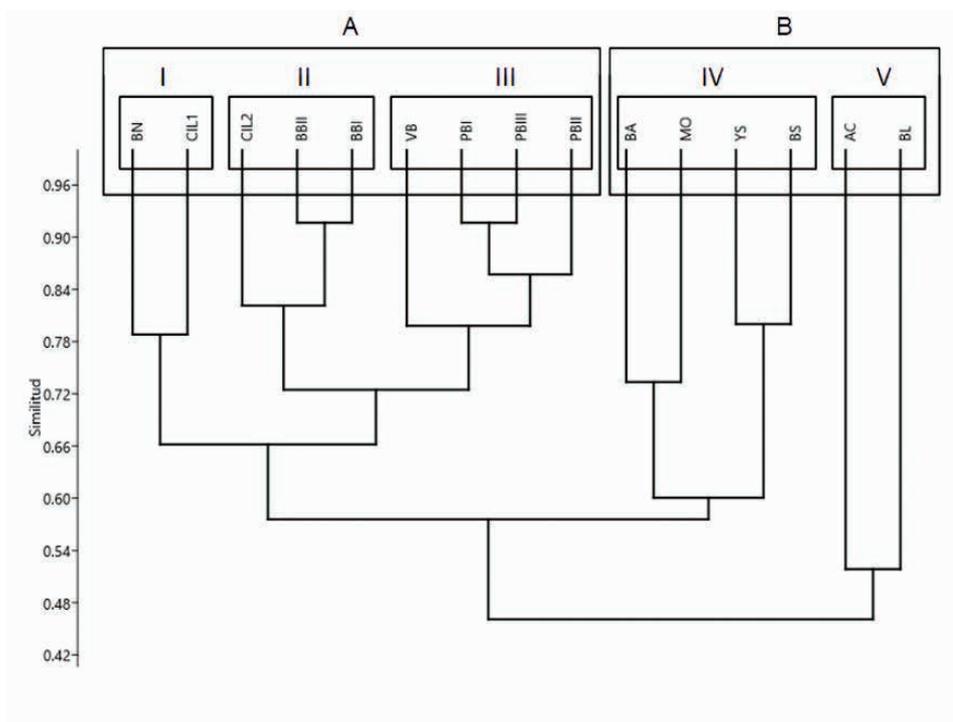
este sentido, Sweet & Séré (2015) mencionan la presencia de ciliados móviles en una gran variedad de signos, incluyendo plaga blanca, banda blanca, banda negra, infección por *Hallofoliculina* y banda amarilla; sin embargo, estos ciliados no son observables sin ayuda de un microscopio por lo que no sirven para diferenciar los signos. Los signos del grupo III tienen altas tasas de avance y tienen, en general, forma de pequeños parches con el borde bien definido. Los signos del grupo IV son de avance relativamente lento y se caracterizan

**Tabla 2.** Revisión de la literatura sobre enfermedades de corales escleractinios del Atlántico.

#	Enfermedad	Signos	Hospederos	Patógenos	Transmisión	Avance	Factores ambientales	Referencias
1	Banda negra (Black band)	Banda negra o roja oscura, adyacente al tejido en apariencia sano y al esqueleto recientemente expuesto.	Múltiples especies, <i>Millepora</i> , <i>Octocorales</i> .	Consorcio de microorganismos, con al menos 3 especies de cianobacterias.	Por el agua, favorece tejido lesionado; los peces pueden actuar como vector.	> 2 cm/día	Nutrientes, luz, contaminación.	Ruerzler <i>et al.</i> (1983); Richardson <i>et al.</i> (1997); Green and Bruckner (2000); Kuta & Richardson (2002); Frias-Lopez <i>et al.</i> (2003); Kaczmarek <i>et al.</i> (2005); Voss & Richardson (2006); Beyett <i>et al.</i> (2007).
2	Infección por ciliados 1 (Ciliate infection)	Banda negra moteada sobre el esqueleto recientemente expuesto a un costado del tejido en apariencia sano.	Acropóridos y especies masivas; al menos 25 especies.	Ciliado <i>Halofolliculina</i> sp.	Columna de agua; la infección es facilitada por tejido lesionado.	-0.03 cm/día	Temperatura, densidad de hospederos	Croquer <i>et al.</i> (2006).
3	Banda blanca tipo I (White band Type I)	Banda blanca creada por una rápida pérdida de tejido desde la base de la colonia; puede presentar una pequeña banda de tejido blanqueado.	<i>A. palmata</i> , <i>A. cervicornis</i>	Bacterias <i>Vibrio</i> y <i>Rickettsiales</i> han sido asociadas al signo.	Caracol <i>Coralliophila abbreviata</i> ; a través del agua en corales con heridas; contacto directo.	2 cm/día	Contaminación, temperatura	Gladfelter (1982); Precht <i>et al.</i> (2002); Vollmer & Kline (2009); Gignoux-Wolfsohn <i>et al.</i> (2012)
4	Banda blanca tipo II (White band Type II)	Banda blanca creada por una rápida pérdida de tejido desde la base de la colonia; presenta una banda de tejido blanqueado antes del esqueleto expuesto.	<i>A. cervicornis</i>	<i>Vibrio charchariae</i>	Inoculación en laboratorio.	5 cm/día; máx 9.33 cm/día	Contaminación, temperatura	Ritchie & Smith (1998); Gil-Agudelo <i>et al.</i> (2009).
5	Infección por ciliados 2 (Ciliate infection)	Signo blanco en apariencia similar a una plaga; al examinarse de cerca es posible ver ciliados nadando sobre el esqueleto cerca del tejido coralino.	Observado en <i>O. faveolata</i> , <i>S. siderea</i> en condiciones de laboratorio	Tres especies de ciliados móviles.	Transmisión por el agua.	- 0.26 cm/día	Poco movimiento de agua	Randall <i>et al.</i> (2014).
6	Plaga blanca tipo I (White plague type I)	Signo en apariencia similar a las bandas blancas pero se observa en especies distintas de los acroporidos; una línea separa el tejido aparentemente sano del esqueleto blanco recientemente expuesto y en perfectas condiciones.	Descrita en 17 especies de corales escleractineos.	Virus y $\alpha$ protobacteria	Desconocido	-0.3 cm/día	Luz	Pantos <i>et al.</i> (2003), Muller & van Woelk (2009); Soffer <i>et al.</i> (2014).
7	Plaga blanca tipo II (White plague type II)	Signo en apariencia similar a las bandas blancas pero se observa en especies distintas de los acroporidos; una línea separa el tejido aparentemente sano del esqueleto blanco recientemente expuesto y en perfectas condiciones; inicia en la base de las colonias. Se diferencia por su tasa de avance.	Corales masivos e incrustantes (40 species).	<i>Aurantimonas coralicida</i> ? (resultados conflictivos), <i>Sphingomonas</i> .	Columna de agua, algas (Halimeda opuntia).	max. 2 cm/día	Luz	Richardson <i>et al.</i> (1998); Denner <i>et al.</i> (2003); Nugues (2004), Sunagawa <i>et al.</i> (2009).
8	Plaga blanca tipo III (White plague type III)	Signo en apariencia similar a las bandas blancas pero se observa en especies distintas de los acroporidos; una línea separa el tejido aparentemente sano del esqueleto blanco recientemente expuesto y en perfectas condiciones; inicia en la base de las colonias. Se diferencia por su tasa de avance.	Corales masivos (-4 especies).	<i>Aurantimonas coralicida</i> , <i>Sphingomonas</i> .	Desconocido	Más rápido que otras plagas.	Desconocido	Richardson & Aronson (2000).

**Tabla 2.** Revisión de la literatura sobre enfermedades de corales escleractinios del Atlántico.

#	Enfermedad	Signos	Hospederos	Patógenos	Transmisión	Avance	Factores ambientales	Referencias
9	Viriuela blanca (White pox)	Parches de esqueleto blanco recientemente expuesto en medio de tejido en apariencia sano.	<i>A. palmata</i> , <i>A. cervicornis</i>	Serratia marcescens	Vector: Coralliophila abbreviata; heces de Sparisoma viride.	2.5 cm/día	Temperatura del agua, eventos de blanqueamiento.	Patterson <i>et al.</i> (2002); Muller <i>et al.</i> (2008); Sutherland <i>et al.</i> (2010); Buckner (2002).
10	Banda amarilla (Yellow band)	Banda o mancha de color amarillo en el tejido del coral; en ocasiones con un anillo blanqueado y mortalidad asociada (por lo general no reciente). La banda des de un ancho considerable (> 3 cm).	<i>Orbicella spp.</i> , otras especies masivas.	Consorcio de bacterias Vibrio.	Inoculaciones en laboratorio, no observada en estudios de campo experimentales.	~0.02 cm/ día	Temperatura	Cervino <i>et al.</i> (2001); Cervino <i>et al.</i> (2008); Jordán-Garza& Jordán-Dahlgren (2011).
11	Lunares oscuros (Dark spots)	Manchas oscuras (café/ morado) de forma irregular en el tejido coralino que pueden asociarse con una zona de mortalidad generalmente cubierta por algas, debido a su lenta progresión.	Al menos 8 especies de corales masivos.	<i>Vibrio carchariae</i> , sin cumplir los postulados de Koch.	Se ha propuesto el modo de transmisión por contacto directo.	~ 0.1 cm/ día	Temperatura, profundidad	Cervino <i>et al.</i> (2001); Gil-Agudelo <i>et al.</i> (2004); Garzón-Ferreira (2001); Borger (2003).
12	Signos blanqueados (Bleached signs)	Manchas o bandas de tejido blanqueado con bordes bien definidos en el tejido del coral.	Varias especies de corales masivos y <i>Acropora spp.</i>	Desconocido	Desconocido	1.4 cm/ año en <i>Orbicella spp.</i>	Desconocido	Datos no publicados.
13	Signo amarillo (Yellow sign)	El tejido presenta un color amarillo generalmente en una banda delgada en el borde del tejido o como una mancha en medio del tejido sano, con o sin zona de mortalidad asociada.	<i>Orbicella spp</i>	Desconocido	Desconocido	1.1 cm/año	Desconocido	Datos no publicados, Jordán-Garza& Jordán-Dahlgren (2011).
14	Blanqueamiento (Bleaching)	Pérdida de zooxantelas o sus pigmentos con tejido intacto. De manera general toda la colonia se ve afectada, pero puede comenzar afectando solamente una parte. Si las condiciones ambientales perduran la colonia puede sufrir mortalidad parcial o total.	Puede afectar a una gran diversidad de organismos que presentan simbiosis con zooxantelas.	Virus	Los estudios sugieren que no es transmisible.	Mortalidad parcial o total.	Temperatura, luz, susceptibilidad de las especies.	Brown <i>et al.</i> (1997), McClanahan <i>et al.</i> (2007), Soffer <i>et al.</i> (2014).
15	Anomalías de crecimiento (Growth anomalies)	Crecimiento anómalo de tejido y esqueleto coralino, acompañados por adelgazamiento del tejido, incremento en la porosidad del esqueleto, pérdida de células secretoras de mucus y nematocistos, disminución o ausencia de zooxantelas, reducción de la fecundidad de la colonia y pérdida o degeneración de pólipos.	Se han registrado en especies del género <i>Acropora</i> , <i>Madrepora</i> , <i>Montastraea</i> , <i>Diploria</i> , <i>Siderastrea</i> , <i>Mycetophyllia</i> , <i>Leptastrea</i> y <i>Porites</i> .	Algunos microorganismos podrían estar involucrados, bacterias.	Contacto directo, columna de agua.	Lento	Desconocido	Kaczmarek & Richardson (2007); Chiu (2012); Bak (1983); Peters <i>et al.</i> (1986); Yamashiro <i>et al.</i> (2000).



**Figura 1.** Análisis de conglomerados que muestra las similitudes entre los distintos signos de enfermedades de corales escleractinios del Atlántico.

**Tabla 3.** Clave para la identificación de signos de enfermedades de corales escleractinios del Atlántico.

Grupo	Sub-grupo	Descripción	Ir a #	Imagen ilustrativa
		Se observa mortalidad reciente		
		Si	A. I.	
		No	B.II.	
A. Signos cuya lesión presenta mortalidad reciente	I.	El signo es una banda de color oscuro adyacente al tejido del coral y de un ancho entre 5 y 50 mm, la intensidad del color disminuye al alejarse del borde con tejido en apariencia sano y sobre el esqueleto expuesto, examinando la banda en detalle, se puede notar que está formada por pequeños puntos negros		

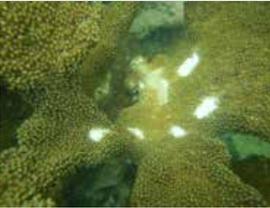
**Tabla 3.** Clave para la identificación de signos de enfermedades de corales escleractinios del Atlántico.

Grupo	Sub-grupo	Descripción	Ir a #	Imagen ilustrativa
		Si	I.1	
		No	I.2	
I.1		<b>Infección por ciliados del género <i>Halofolliculina</i></b> puede presentarse en acroporidos y en una gran diversidad de corales masivos y foliosos		
I.2		El signo es una banda adyacente al tejido del coral y de color negro obscuro o rojo obscuro de un ancho entre 1 mm hasta 5 cm y un grosor de $\pm$ 1 mm y está compuesta por elementos filamentosos (oscuros) en ocasiones con algunos filamentos blancos, la banda separa el tejido en apariencia sano del esqueleto blanco recientemente expuesto		
		Si	I.3	
		No	I.4	
I.3		Enfermedad de la <b>banda negra</b> (black band), esta enfermedad afecta a un gran número de especies.		
I.4		El signo se presenta en forma de una banda blanca de ancho variable (mm a cm)		

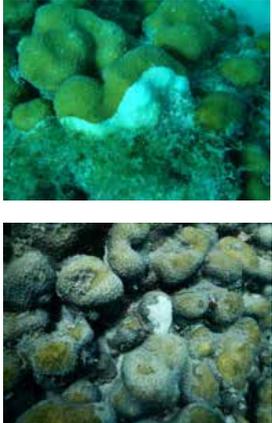
por un cambio en la coloración normal del tejido, ya sea por un blanqueamiento o pigmentación en un área restringida del tejido. Finalmente, los signos del grupo V no se asocian con una tasa de avance o esta es episódica (carece de continuidad) y el borde entre el signo y el tejido en apariencia normal puede ser

difuso o afectar a toda la colonia en el caso del blanqueamiento. Aunque existen distintas guías y publicaciones que describen los signos de enfermedades (Raymundo *et al.*, 2008; Weil & Rogers 2011), las descripciones de cada signo son independientes y pocas veces se resaltan sus similitudes y diferencias. Esto

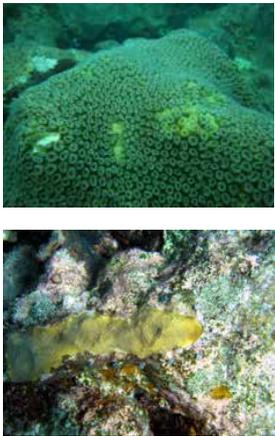
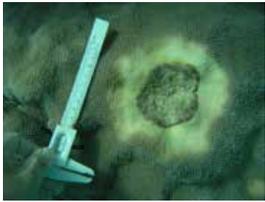
**Tabla 3.** Clave para la identificación de signos de enfermedades de corales escleractinios del Atlántico.

Grupo	Sub-grupo	Descripción	Ir a #	Imagen ilustrativa
		Si	1.5	
		No	1.9	
1.5		La banda es de color blanco, se forma por la ausencia de tejido y se presenta en la base o ramas de corales de la familia <i>Acroporidae</i> . El esqueleto expuesto presenta poco o nulo sobrecrecimiento por algas u otros epibiontes, en ocasiones es posible observar una banda de tejido blanqueado anterior al esqueleto expuesto, se trata de la enfermedad de la <b>banda blanca</b> (white band) (Tipo I o Tipo II); aunque existen dos tipos de esta enfermedad solo son diferenciables en base a su tasa de avance, si conoce la tasa de avance y es menor de 0.8 cm/ día.	1.7	 
1.6		Si la tasa de avance es mayor de 0.8 cm/día	1.8	
1.7		Enfermedad de la Banda Blanca Tipo I		Ver 1.5
1.8		Enfermedad de la Banda Blanca Tipo II		Ver 1.5
1.9		El signo se caracteriza por formar 1 o más parches de tejido expuesto con bordes bien definidos	1.10	
1.10		si la especie afectada es del género <i>Acropora</i>	1.12	
1.11		Si la especie afectada es de cualquier otro género menos <i>Acropora</i>	1.13	
1.12		Los signos pueden ser pequeños (1 cm de diámetro) o grandes (hasta 80 cm de diámetro), el esqueleto expuesto no ha sido colonizado por otros organismos y está intacto, por lo que es de color blanco aunque en ocasiones puede contener remanentes de tejido coralino se trata de la Enfermedad de la <b>viruela blanca</b> (white pox), esta enfermedad se ha asociado a la bacteria <i>Serratia marcescens</i> pero no de manera consistente, afecta principalmente al coral <i>Acropora palmata</i> pero un signo de apariencia similar ha sido reportado también para <i>A. cervicornis</i> .		
1.13		El signo aparece como como una mancha pero puede formar líneas o anillos dependiendo de la morfología del coral, el tejido del coral se ha perdido y el esqueleto aparece intacto y sin colonizar por otros organismos		
		Si	1.15	
		No	1.14	
1.14		El esqueleto se encuentra dañado o se observa la presencia de organismos en el borde entre el tejido y el esqueleto expuesto	1.20	

**Tabla 3.** Clave para la identificación de signos de enfermedades de corales escleractinios del Atlántico.

Grupo	Sub-grupo	Descripción	Ir a #	Imagen ilustrativa
	I.15	En ocasiones el tejido adyacente al esqueleto expuesto esta blanqueado, se trata de la enfermedad de la <b>plaga blanca</b> (white plague); afecta principalmente a corales masivos, aunque existen dos tipos de esta enfermedad solo son diferenciables en base a su tasa de avance, si conoce la tasa de avance y es menor de 0.3 cm/ día.	I.17	
	I.16	La tasa es cercana a 2 cm/día	I.18	
		La tasa es mayor a 2 cm/día y hasta 10 cm/día	I.19	
	I.17	Enfermedad de la <b>plaga blanca tipo I</b>		Ver I.15
	I.18	Enfermedad de la <b>plaga blanca tipo II</b> , se ha asociado a la bacteria <i>Aurantimonas coralicida</i> pero no de manera consistente		Ver I.15
	I.19	Enfermedad de la plaga blanca tipo II		Ver I.15
	I.20	Depredación o competencia		
B. Signos cuya lesión no presenta de manera consistente mortalidad reciente, se caracterizan por cambios en la coloración y apariencia del tejido	II.	El signo consiste en la decoloración del tejido coralino (blanqueamiento) en una o varias zonas de la colonia, el borde es difuso, pero se presenta en forma de manchas o bandas de un ancho considerable (> 3 cm), mortalidad antigua puede estar presente.		
		Si	II.1	
		No	II.7	
	II.1	El signo puede tener forma de manchas o bandas a lo largo de todo o parte del borde de la colonia afectada.		
		Si	II.2	
		No	II.9	
	II.2	El color del signo es amarillo		
		Si	II.3	
		No	II.5	
	II.3	El signo es una mancha pequeña o línea delgada (< 5cm)		
		Si	II.4	
		No	II.6	

**Tabla 3.** Clave para la identificación de signos de enfermedades de corales escleractinios del Atlántico.

Grupo	Sub-grupo	Descripción	Ir a #	Imagen ilustrativa
	II.4	Se trata de un <b>signo amarillo</b> , esta afección no ha sido bien caracterizada, pero es relativamente abundante y se ha asociado con pérdida de tejido		
	II.5	El color del signo es blanco.		
		Si	II.7	
		No	II.8	
	II.6	El signo es una banda ancha (puede formar anillos) en ocasiones está acompañada de un margen de tejido completamente blanqueado, en general no se observa esqueleto recientemente expuesto y las zonas de mortalidad están cubiertas por algas tipo turf y sedimento. La enfermedad avanza con relativa lentitud (-0.6 cm/mes), comienza como una mancha amarilla que, al irse expandiendo y matando tejido forma las bandas: Enfermedad de la <b>banda amarilla</b> , afecta principalmente a corales del género <i>Orbicella</i> pero ha sido reportada también para otras especies masivas.		
	II.7	Se trata de un <b>signo blanco</b> , esta afección no ha sido bien caracterizada, pero es relativamente abundante y afecta a varias especies ( <i>Orbicella spp.</i> , <i>Montastraea cavernosa</i> , <i>Pseudodiploria spp.</i> , etc.). Se ha asociado con pérdida de tejido en <i>Orbicella spp.</i>		
	II.8	El signo consiste en una pigmentación excesiva del tejido que aparece de un color oscuro. El tejido del coral se ha tornado de color oscuro, puede estar asociado a una depresión en la superficie del coral, no se observa esqueleto expuesto recientemente, si hay zona de mortalidad esta se encuentra cubierta por sedimento o algas tipo turf; en ocasiones las manchas pueden unirse al avanzar y matar tejido y el signo toma la apariencia de una banda anular de tejido oscuro. Se trata de la enfermedad de los <b>lunares oscuros</b> (dark spots), afecta principalmente a corales del genero <i>Stephanocoenia</i> , <i>Orbicella</i> y <i>Siderastrea</i> puede avanzar hasta 4 cm/mes.		

**Tabla 3.** Clave para la identificación de signos de enfermedades de corales escleractinios del Atlántico.

Grupo	Sub-grupo	Descripción	Ir a #	Imagen ilustrativa
	II.9	El signo no tiene una forma bien definida o puede afectar toda la colonia. Se caracteriza por alteraciones en el esqueleto		
		Si	II.10	
		No	II.11	
	II.10	El signo se caracteriza por un crecimiento anómalo del tejido y el esqueleto del coral, en algunos casos la estructura del coralito está ausente. Se trata de una <b>hiperplasia</b> (crecimiento celular acelerado) o <b>neoplasia</b> (crecimiento celular anómalo), es decir algún tipo de tumor		
	II.11	El signo se caracteriza por el blanqueamiento del tejido en zonas grandes (con bordes difusos) o toda la colonia. El tejido del coral ha perdido color, por la pérdida de micro-algas simbiotas o sus pigmento, en casi toda la colonia o una parte considerable de la misma, por lo que la colonia se observa pálida o completamente blanca (pues el tejido es transparente), en ocasiones y en algunas especies (como <i>Siderastrea siderea</i> o <i>Agaricia agaricites</i> ) la colonia puede verse de color azul o naranja; se trata del <b>blanqueamiento del coral</b> el cual puede afectar a todos los organismos que tienen simbiosis con zooxantelas.		

hace que la diagnosis esté sujeta a la interpretación del observador y no existe, hasta el momento, una forma de estimar falsos positivos y negativos (Ionnadis *et al.*, 2011) cuando se reporta la prevalencia de los signos de enfermedad de corales. Este trabajo se presenta una clave en español para ayudar con la estandarización de los criterios que se usan al momento de identificar un signo de enfermedad coralina para estudios epidemiológicos en donde se evalúan cientos a miles de colonias.

Hay pocos estudios de enfermedades en arrecifes de Veracruz, Carricart-Ganivet *et al.* (2011) reportan una prevalencia de signos cercana a 5%, la cual es inferior a lo reportado

para arrecifes del Caribe en el verano (Ruiz-Moreno *et al.*, 2012); sin embargo, en el 2012 la prevalencia de signos de enfermedades en el SALT fue de 26 %; Pérez-España *et al.* (2015) mostraron como las enfermedades han ido aumentando desde el 2006 & Castañeda-Chávez *et al.* (2018) discuten la presencia de bacterias, potencialmente patógenos, en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Los incrementos en prevalencia pueden indicar la ocurrencia deepizootias (Williams & Miller, 2005), el efecto de algún estrés ambiental (Pollock *et al.*, 2014) o la presencia de una enfermedad crónica cuya incidencia se acumula en el tiempo.

La circulación oceánica puede ser un factor que influya tanto en la distribución como en el aumento en la prevalencia de enfermedades marinas (Harvell *et al.*, 2002). En general el forzamiento oceanográfico por viento y marea es el más importante en zonas arrecifales; sin embargo, en los arrecifes de Veracruz, el forzamiento de la circulación aún no está bien caracterizado, pero se sabe que el viento desempeña un papel importante en la circulación marina en la zona norte del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (Salas-Pérez *et al.*, 2018). En general, la disminución del viento y la marea produce que las aguas superficiales de la zona costera se mezclen menos y, por lo tanto, la radiación solar origine flujos de calor positivos en aguas marinas y por lo tanto un incremento de la temperatura por encima del promedio. Es probable que estos procesos jueguen un rol en las epizootias de enfermedades.

La menor frecuencia de anomalías térmicas en sistemas como Lobos-Tuxpan (Randall *et al.*, 2014) y el potencial efecto benéfico de la turbidez para evitar eventos masivos de blanqueamiento coralino en el corredor

arrecifal Veracruzano (Jordán-Garza *et al.*, 2017) podrían haber amortiguado el efecto de las enfermedades en el golfo de México en contraste con el Caribe o Florida. Aunque aún hace falta evaluar la prevalencia de enfermedades en los arrecifes de Los Tuxtlas (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013), la alta prevalencia de signos en Lobos-Tuxpan y en el sistema arrecifal Veracruzano (Gutiérrez-Ruiz *et al.*, 2011; Pérez-España *et al.*, 2015) implica que los corales perderán tejido (Jordán-Dahlgren *et al.*, 2005) y su estructura y funcionamiento podrán verse afectados a mediano y largo plazo (Aronson & Precht 2001; Bruckner & Bruckner 2006).

Es por esto que la vigilancia epidemiológica en los sistemas arrecifales de Veracruz es de suma importancia para ser capaces de tomar decisiones de manejo como la manipulación de colonias enfermas (Randall *et al.*, 2018). Un primer paso es la estandarización de la descripción de los signos para asegurar que la identificación no se base en criterios subjetivos y los estudios de prevalencia sean comparables entre sí, la presente clave (tabla 3) es un esfuerzo en ese sentido.

## CONSIDERACIONES FINALES

Signos de enfermedades distintas y por tanto de etiologías potencialmente diferentes se asemejan entre sí. Un primer paso para determinar las causas y ser capaces de tomar decisiones pertinentes de manejo es la correcta diagnosis de los distintos signos de enfermedades. La presente clave dicotómica tiene la finalidad de ayudar en el diagnóstico de enfermedades observadas en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan y comunes en arrecifes del

Atlántico. La prevalencia de enfermedades en el SALT y en el SAV ha sido reportada alta en los últimos seis años y aún no ha sido evaluada en los arrecifes de los Tuxtlas. Las enfermedades de coral tienen el potencial de cambiar la estructura de las poblaciones y comunidades de coral por lo que la vigilancia epidemiológica en el Corredor Arrecifal Veracruzano es de suma importancia.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al biólogo marino G. García-Ayala por el análisis de imágenes.

## LITERATURA CITADA

- Aronson, R.B., W.F. Precht & I.G. Macintyre, 1998. Extrinsic control of species replacement on a Holocene reef in Belize: the role of coral disease. *Coral Reefs*, 17:223-230.
- Aronson, R.B. & W.F. Precht, 2001. White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. En: *The ecology and etiology of newly emerging marine diseases*. Springer Netherlands pp. 25-38.
- Bak, R., 1983. Neoplasia, regeneration and growth in the reef-building coral *Acropora palmata*. *Marine Biology*, 77:221-227.
- Borger, J.L., 2003. Three scleractinian coral diseases in Dominica, West Indies: distribution, infection patterns and contribution to coral tissue mortality. *Revista de Biología Tropical*, 51:25-38.
- Boyett, H.V., D.G. Bourne & B.L. Willis, 2007. Elevated temperature and light enhance progression and spread of black band disease on staghorn corals of the Great Barrier Reef. *Marine Biology*, 151:1711-1720.
- Brown, B.E., 1997. Coral bleaching: causes and consequences. *Coral Reefs*, 16:S129-S138.
- Bruckner, A.W. & R.J. Bruckner, 2006. Consequences of yellow band disease (YBD) on *Montastraea annularis* (species complex) populations on remote reefs off Mona Island, Puerto Rico. *Diseases of Aquatic Organisms*, 69:67-73.
- Bruckner, A.W., 2002. Priorities for effective management of coral diseases (p. 54). US Department of Commerce, NOAA, National Marine Fisheries Service.
- Bruno, J.F. & E.R. Selig, 2007. Regional decline of coral cover in the Indo-Pacific: timing, extent, and subregional comparisons. *PLoS One*, 2:e711.
- Carricart-Ganivet, J.P., A. Beltrán-Torres & G. Horta-Puga, 2011. Distribution and prevalence of coral diseases in the Veracruz Reef System, Southern Gulf of Mexico. *Diseases of Aquatic Organisms*, 95:181-187.
- Castañeda-Chávez R., F. Lango-Reynoso, J.L. García-Fuentes & A.R. Reyes-Aguilar, 2018. Bacteria that affects coral health with an emphasis on the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46:880-889.
- Cervino, J.M., F.L. Thompson, B. Gómez-Gil, E.A. Lorence, T.J. Goreau, R.L. Hayes & E. Bartels, 2008. The *Vibrio* core group induces yellow band disease in Caribbean and Indo-Pacific reef-building corals. *Journal of Applied Microbiology*, 105:1658-1671.
- Cervino, J., T.J. Goreau, I. Nagelkerken, G.W. Smith & R. Hayes, 2001. Yellow band and dark spot syndromes in Caribbean corals: distribution, rate of spread, cytology, and effects on abundance and division rate of zooxanthellae. En: *The Ecology and Etiology of Newly Emerging Marine Diseases*. Springer, Dordrecht. pp. 53-63.
- Chiu, J.M., S. Li, A. Li, B. Po, R. Zhang, P.K. Shin & J.W. Qiu, 2012. Bacteria associated with skeletal tissue growth anomalies in the coral *Platygyra carnosus*. *FEMS Microbiology Ecology*, 79:380-391.
- Cróquer, A., C. Bastidas, D. Lipscomp, R.E. Rodríguez-Martínez, E. Jordán-Dahlgren &

- H.M. Guzman, 2006. First report of folliculinid ciliates affecting Caribbean scleractinian corals. *Coral Reefs*, 25:187-191.
- De'ath, G., K.E. Fabricius, H. Sweatman & M. Puotinen, 2012. The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109:17995-17999.
- Denner, E.B., G.W. Smith, H.J. Busse, P. Schumann, T. Narzt, S.W. Polson, W. Lubitz & L.L. Richardson, 2003. *Aurantimonas corallicida* gen. nov., sp. nov., the causative agent of white plague type II on Caribbean scleractinian corals. *International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology*, 53:1115-1122.
- Frías-López, J., G.T. Bonheyo, Q. Jin, & B.W. Fouke, 2003. Cyanobacteria associated with coral black band disease in Caribbean and Indo-Pacific reefs. *Applied & Environmental Microbiology*, 69:2409-2413.
- Gardner, T.A., I. Côté, J.A. Gill, A. Grant & Watkinson, A.R., 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science* 301:958-960.
- Garzón-Ferreira, J., D.L. Gil-Agudelo, L.M. Barrios & S. Zea, 2001. Stony coral diseases observed in southwestern Caribbean reefs. *Hydrobiologia*, 460:65-69.
- Gignoux-Wolfsohn, S.A., C.J. Marks & S.V. Vollmer, 2012. White band disease transmission in the threatened coral, *Acropora cervicornis*. *Scientific reports* 2:804.
- Gil-Agudelo, D.L., G.W. Smith, J. Garzón-Ferreira, E. Weil & D. Petersen, 2004. Dark spots disease and yellow band disease, two poorly known coral diseases with high incidence in Caribbean reefs. En: *Coral Health & Disease* (pp. 337-349). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gil-Agudelo, L.D., R. Navas-Camacho, A. Rodríguez-Ramírez, M.C. Reyes-Nivia, S. Bejarano, J. Garzón-Ferreira & G.W. Smith, 2009. Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 38:189-224.
- Gladfelter, W.B., 1982. White-band disease in *Acropora palmata*: implications for the structure and growth of shallow reefs. *Bulletin of Marine Science*, 32:639-643.
- Green, E.P. & A.W. Bruckner, 2000. The significance of coral disease epizootiology for coral reef conservation. *Biological Conservation*, 96:347-361.
- Hammer, R., D.A. Harper & P.D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis—Paleontol. Electron. 4:9pp.
- Harvell, C.D., K. Kim, J.M. Burkholder, R.R. Colwell, P.R. Epstein, D.J. Grimes, E.E. Hofmann, E.K. Lipp, A.D. Osterhaus, R.M. Overstreet, J.W. Porter, G.W. Smith & G.R. Vasta, 1999. Emerging marine diseases—climate links and anthropogenic factors. *Science*, 285:1505-1510.
- Harvell, C.D., C.E. Mitchell, J.R. Ward, S. Altizer, A.P. Dobson, R.S. Ostfeld & M.D. Samuel, 2002. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, 296:2158-2162.
- Harvell, D., E. Jordán-Dahlgren, S. Merkel, E. Rosenberg, L. Raymundo, G. Smith, E. Weil & B. Willis, 2007. Coral disease, environmental drivers, and the balance between coral and microbial associates. *Oceanography*, 20:172-195.
- Hoegh-Guldberg, O., P.J. Mumby, A.J. Hooten, R.S. Steneck, P. Greenfield, E. Gómez, C.D. Harvell, P.F. Sale, A.J. Edwards, K. Caldéra, N. Knowlton, C.M. Eakin, R. Iglesias-Prieto, N. Muthiga, R.H. Bradbury, A. Dubi & M.E. Hatzioles, 2007. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318:1737-1742.
- Horta-Puga G., J.L. Tello-Musi, A. Beltrán-Torres, J.P. Carricart-Ganivet, J.D. Carriquiry & J. Villaescusa-Celaya, 2015. Veracruz Reef system: a hermatypic coral community y thriving in a sedimentary terrigenous environment, 181-208p. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal & C. González-Gándara

- (eds.). *Aportes al Conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 pp.
- Hughes, T.P., 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science-AAAS-Weekly Paper Edition*, 265:1547-1551.
- Hughes, T.P., N.A. Graham, J.B. Jackson, P.J. Mumby & R.S. Steneck, 2010. Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends in Ecology & Evolution*, 25:633-642.
- Hughes, T.P., J.T. Kerry, A.H. Baird, S.R. Connolly, A. Dietzel, C.M. Eakin, S.F. Heron, A.S. Hoey, M.O. Hoogenboom, G. & M.J. Liu, 2018. Global warming transforms coral reef assemblages. *Nature*, 556(7702):492.
- Ioannidis, J.P., J.K. Tarone & J.K. McLaughlin, 2011. The false-positive to false-negative ratio in epidemiologic studies. *Epidemiology*: 450-456.
- Jackson J., M. Donovan, K. Cramer & V. Lam, 2014. Status and trends of Caribbean coral reefs: 1970–2012. Global coral reef monitoring network. International Union for the Conservation of Nature Global Marine and Polar Program. Washington, DC.
- James F.C. & C.E. McCulloch, 1990. Multivariate analysis in ecology and systematics: panacea or Pandora's box?. *Annual Review of Ecology and Systematics* 21:129-166.
- Jordán-Garza, A.G. & E. Jordán-Dahlgren, 2011. Caribbean yellow-band syndrome on *Montastraea faveolata* is not transmitted mechanically under field conditions. *Diseases of Aquatic Organisms*, 96:83-87.
- Jordán-Garza, A.G., C. González-Gándara C., J. Salas-Pérez & A.M. Morales-Barragan, 2017. Coral assemblages are structured along a turbidity gradient on the Southwestern Gulf of Mexico, Veracruz. *Continental Shelf Research*, 138:32-40.
- Kaczmarek, L. & L.L. Richardson, 2007. Transmission of growth anomalies between Indo-Pacific *Porites* corals. *Journal of Invertebrate Pathology*, 94:218-221.
- Kaczmarek, L.T., M. Draud & E.H. Williams, 2005. Is there a relationship between proximity to sewage effluent and the prevalence of coral disease?. *Caribbean Journal of Science*, 41:124-137.
- Kuta, K. & L. Richardson, 2002. Ecological aspects of black band disease of corals: relationships between disease incidence and environmental factors. *Coral Reefs*, 21:393-398.
- Lafferty, K.D., J.W. Porter & S.E. Ford, 2004. Are diseases increasing in the ocean?. *Annual Review of Ecology, Evolution & Systematics*: 31-54.
- Lesser, M.P. & R. van Woesik, 2015. Modelling climate-change effects on coral disease. *Reef Encounter*, 31:32-35.
- Lesser, M.P., J.C. Bythell, R.D. Gates, R.W. Johnstone & O. Hoegh-Guldberg, 2007. Are infectious diseases really killing corals? Alternative interpretations of the experimental and ecological data. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology*, 346:36-44.
- Lievens, B. & B.P. Thomma, 2005. Recent developments in pathogen detection arrays: implications for fungal plant pathogens and use in practice. *Phytopathology*, 95:1374-1380.
- McClanahan, T.R., M. Ateweberhan, C.A. Muthando, J. Maina & M.S. Mohamed, 2007. Effects of climate and seawater temperature variation on coral bleaching and mortality. *Ecological Monographs*, 77:503-525.
- Muller, E.M., C.S. Rogers & R. van Woesik, 2008. Bleaching increases likelihood of disease on *Acropora palmata* (Lamarck) in Hawksnest Bay, St John, US Virgin Islands. *Coral Reefs*, 27:191-195.
- Muller, E.M. & R. van Woesik, 2009. Shading reduces coral-disease progression. *Coral Reefs*, 28:757-760.
- Nugues, M.M., G.W. Smith, R.J. van Hooidonk, M.I. Seabra & R.P. Bak, 2004. Algal contact as a trigger for coral disease. *Ecology Letters*, 7:919-923.

- Ortiz-Lozano, L., H. Pérez-España, A. Granados-Barba, C. González-Gándara, A.L. Gutiérrez-Velázquez, J. Martos, 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86:22-32.
- Pantos, O., R.P. Cooney, M.D. Le Tissier, M.R. Barer, A.G. O'donnell & J.C. Bythell, 2003. The bacterial ecology of a plague-like disease affecting the Caribbean coral *Montastrea annularis*. *Environmental Microbiology*, 5:370-382.
- Patterson, K.L., J.W. Porter, K.B. Ritchie, S.W. Polson, E. Mueller, E.C. Peters, D.L. Santavy & G.W. Smith, 2002. The etiology of white pox, a lethal disease of the Caribbean elkhorn coral, *Acropora palmata*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99:8725-8730.
- Pérez-España, H., P.S. Ávila-Gutiérrez, S.M. Melo-Merino, P. Berumen-Solórzano & R. Flores-Arévalo, 2015. Patrones interanuales e interarrecifales de las comunidades de peces, corales y equinodermos en el Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Granados-Barba A., Ortiz-Lozano L.D., Salas-Monreal D., González-Gándara C. (Eds). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche, México. pp. 157-178.
- Peters, E.C., J.C. Halas & H.B. McCarty, 1986. Calicoblastic neoplasms in *Acropora palmata*, with a review of reports on anomalies of growth and form in corals. *Journal of the National Cancer Institute*, 76:895-912.
- Pollock, F.J., J.B. Lamb, S.N. Field, S.F. Heron, B. Schaffelke, G. Shedrawi & B.L. Willis, 2014. Sediment and turbidity associated with offshore dredging increase coral disease prevalence on nearby reefs. *PLOS One*, 9:e102498.
- Precht, W.F., B.E. Gintert, M.L. Robbart, R. Fura & R. van Woesik, 2016. Unprecedented disease-related coral mortality in southeastern Florida. *Scientific Reports*, 6.
- Precht, W., A. Bruckner, R. Aronson & R. Bruckner, 2002. Endangered acroporid corals of the Caribbean. *Coral Reefs*, 21:41-42.
- Randall, C.J. & R. van Woesik, 2015. Contemporary white-band disease in Caribbean corals driven by climate change. *Nature Climate Change*, 5:375.
- Randall, C.J. & R. van Woesik, 2014. Relationships between the history of thermal stress and the relative risk of diseases of Caribbean corals. *Ecology*, 95:1981-1994.
- Randall, C.J., A.G. Jordán-Garza & R. van Woesik, 2015. Ciliates associated with signs of disease on two Caribbean corals. *Coral Reefs*, 34:243-247.
- Randall, C.J., E.M. Witcher, T. Code, C. Pollock, I. Lundgren, Z. Hillis-Starr & E.M. Muller, 2018. Testing methods to mitigate Caribbean yellow-band disease on *Orbicella faveolata*. *PeerJ*, 6, e4800.
- Raymundo, L.J., C.S. Couch, C.D. Harvell, J. Raymundo, A.W. Bruckner, T.M. Work, E. Weil, C.M. Woodley, E. Jordán-Dahlgren, B.L. Willis & Y. Sato, 2008. *Coral disease handbook guidelines for assessment, monitoring and management*. 121 pp.
- Richardson, L.L., W.M. Goldberg, R.G. Carlton & J.C. Halas, 1998. Coral disease outbreak in the Florida Keys: plague type II. *Revista de Biología Tropical*, 46:187-198.
- Richardson, L.L. & R.B. Aronson, 2002. Infectious diseases of reef corals. En: *Proceedings of the Ninth International Coral Reef Symposium*, Bali, 23-27: 1225-1230.
- Richardson, L.L., W.M. Goldberg, K.G. Kuta, R.B. Aronson, G.W. Smith, K.B. Ritchie, J.C. Halas, J.S. Feingold & S.L. Miller, 1998. Florida's mystery coral-killer identified. *Nature*, 392:557-560.
- Richardson, L.L., K.G. Kuta, S. Schnell & R.G. Carlton, 1997. Ecology of the black band disease microbial consortium. En: *Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium*, 1:597-600.

- Rosenberg, E., O. Koren, L. Reshef, R. Efrony & I. Zilber-Rosenberg, 2007. The role of microorganisms in coral health, disease and evolution. *Nature Reviews Microbiology*, 5:355-362.
- Ruiz-Moreno, D., B.L. Willis, A.C. Page, E. Weil, A. Cróquer, B. Vargas-Angel, A.G. Jordán-Garza E. Jordán-Dahlgren, L. Raymundo & C.D. Harvell, 2012. Global coral disease prevalence associated with sea temperature anomalies and local factors. *Diseases of Aquatic Organisms*, 100:249-261.
- Rützler, K. & D.L. Santavy, 1983. The black band disease of Atlantic reef corals. *Marine Ecology*, 4:301-319.
- Salas-Pérez, J.J., A.G. Jordán-Garza, D. Salas-Monreal, C. González-Gándara & C. Domínguez-Barradas, 2018. Features and circulation of water masses in the reef corridor of the southwestern Gulf of Mexico. En: *Oceanography of the Reef Corridor of the Southwestern Gulf of Mexico*. NOVA, USA. 138pp.
- Soffer, N., M.E. Brandt, A.M. Correa, T.B. Smith & R.V. Thurber, 2014. Potential role of viruses in white plague coral disease. *The ISME journal*, 8:271-275.
- Stuart-Smith, R.D., C.J. Brown, D.M. Ceccarelli & G.J. Edgar, 2018. Ecosystem restructuring along the Great Barrier Reef following mass coral bleaching. *Nature*, 560:92-95.
- Sunagawa, S., T.Z. DeSantis, Y.M. Piceno, E.L. Brodie, M.K. DeSalvo, C.R. Voolstra, E. Weil, G.L. Andersen & M. Medina, 2009. Bacterial diversity and white plague disease-associated community changes in the Caribbean coral *Montastraea faveolata*. *The ISME journal*, 3:512-517.
- Sutherland, K.P., J.W. Porter & C. Torres, 2004. Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. *Marine Ecology Progress Series*, 266:273-302.
- Sutherland, K.P., J.W. Porter, J.W. Turner, B.J. Thomas, E. Looney, T.P. Luna, M.K. Meyers, J.C. Futch & E.K. Lipp, 2010. Human sewage identified as likely source of white pox disease of the threatened Caribbean elkhorn coral, *Acropora palmata*. *Environmental microbiology*, 12:1122-1131.
- Sutherland, K.P., S. Shaban, J.L. Joyner, J.W. Porter & E.K. Lipp, 2011. Human pathogen shown to cause disease in the threatened elkhorn coral *Acropora palmata*. *PLoS one*, 6:e23468.
- Sweet, M.J. & M.G. Séré, 2016. Ciliate communities consistently associated with coral diseases. *Journal of Sea Research*, 113:119-131.
- Sweet, M.J., A. Croquer & J.C. Bythell, 2011. Bacterial assemblages differ between compartments within the coral holobiont. *Coral Reefs*, 30:39-52.
- Sweet, M.J., A. Croquer & J.C. Bythell, 2014. Experimental antibiotic treatment identifies potential pathogens of white band disease in the endangered Caribbean coral *Acropora cervicornis*. *Proceedings of the Royal Society B* 281:1788.
- Vega Thurber, R.L., D.E. Burkepile, C. Fuchs, A. Shantz, R. McMinds & J.R. Zaneveld, 2014. Chronic nutrient enrichment increases prevalence and severity of coral disease and bleaching. *Global Change Biology*, 20:544-554.
- Vollmer, S.V. & D.I. Kline, 2008. Natural disease resistance in threatened staghorn corals. *PLoS one*, 3:e3718.
- Voss, J.D. & L.L. Richardson, 2006. Nutrient enrichment enhances black band disease progression in corals. *Coral Reefs*, 25:569-576.
- Weil, E. & C.S. Rogers, 2011. Coral reef diseases in the Atlantic-Caribbean. En: *Coral reefs: an ecosystem in transition*. Springer Netherlands. pp. 465-491.
- Williams, D.E. & M.W. Miller, 2005. Coral disease outbreak: pattern, prevalence and transmission in *Acropora cervicornis*. *Marine Ecology Progress Series*, 301:119-128.
- Woodley C.M., A.W. Bruckner, S.B. Galloway, S.M. McLaughlin, C.A. Downs, E.B. Fauth, E.B. Shoots & K.L. Lidie, 2003. Coral disease and health: a national research plan: National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD. 72pp.

- Work, T. & C. Meteyer, 2014. To understand coral disease, look at coral cells. *EcoHealth*, 11:610-618.
- Work, T.M., L.L. Richardson, T.L. Reynolds & B.L. Willis, 2008. Biomedical and veterinary science can increase our understanding of coral disease. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 362:63-70.
- Yamashiro, H., M. Yamamoto & R. van Woesik, 2000. Tumor formation on the coral *Montipora informis*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 41:211-217.

Laura Carreón-Palau, L., J.A. del Angel-Rodríguez, C.C. Parrish, H. Pérez-España y Sergio Aguiñiga-García, 2019. Evaluación de las Fuentes Naturales y Antropogénicas de Nitrógeno y Carbono en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, p. 345-376. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p. ISBN 978-607-8444-54-0. doi 10.26359/epomex0319

## Evaluación de las Fuentes Naturales y Antropogénicas de Nitrógeno y Carbono en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

*Laura Carreón-Palau<sup>1,\*</sup>, Jorge A. del Angel-Rodríguez<sup>2</sup>, Christopher C. Parrish<sup>2</sup>,  
Horacio Pérez-España<sup>3</sup> y Sergio Aguiñiga-García<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste

<sup>2</sup>Department of Ocean Sciences, Memorial University of Newfoundland, Canadá

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana

<sup>4</sup>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas-Instituto Politécnico Nacional

\*lcarreon@cibnor.mx

### RESUMEN

En la mayor parte de su distribución geográfica, el coral ha disminuido su cobertura y ha sido sustituido por macroalgas foliosas, principalmente pardas. Dichas algas tienen un crecimiento inusual debido al aumento de nutrientes antropogénicos arrastrados en los ríos y aguas residuales. Conocer la contribución, así como las rutas de origen y destino de estos nutrientes permite establecer estrategias de control, reducción e incluso remediación. En la red trófica del ecosistema coralino del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), se analiza la contribución y las rutas de incorporación de las fuentes terrestres de nitrógeno (N), así como las fuentes de carbono (C) orgánico naturales y antropogénicas. La fuente de N y su concentración relativa se evaluó empleando el valor isotópico de N y la relación C:N. La contribución natural de los productores primarios (fuente natural) se estimó mediante un modelo de mezcla de isótopos estables de C y N (SIAR), y se determinó el destino de los lípidos y sus unidades estructurales, los ácidos grasos (AG) como indicadores de la calidad del C en las temporadas de secas y de lluvias. Las fuentes antropogénicas de C orgánico se evaluaron usando el coprostanol (5 $\beta$ -coleston-3 $\beta$ -ol) como biomarcador de la presencia de residuos de heces humanas. Los valores isotópicos de N y la relación C:N indican que los fertilizantes fueron la principal fuente de N para las macroalgas. Dicho aporte también favoreció el crecimiento de fitoplancton y de pastos marinos, y la mayor parte de los consumidores presentó una mejor condición nutricional y mayor

retención de triglicéridos en la temporada de lluvias; sin embargo, la condición nutricional del coral *Montastrea cavernosa* disminuyó significativamente. De acuerdo al SIAR, el fitoplancton fue la principal fuente de carbono natural transferido como AG esenciales a la mayor parte de la red trófica. El C del manglar fue transferido a los peces juveniles principalmente como AG monoinsaturados y el C de los pastos marinos fue transferido a toda la red trófica estudiada como AG no esenciales. Las macroalgas pardas tuvieron la menor contribución de C al sistema y fueron consumidas principalmente por erizos, mientras que los peces herbívoros prefirieron macroalgas rojas. En cuanto a las fuentes antropogénicas de C, en la temporada de secas el río Jamapa presentó niveles de coprostanol equivalentes a una cantidad de coliformes mayor al límite establecido por la norma oficial mexicana. En la temporada de lluvias, cuando la corriente fluye de sur a norte, la contaminación fue más alta en el sur, frente a Antón Lizardo, afectando la boca del río Jamapa y el arrecife de Sacrificios con valores mayores al límite, a pesar de que hubo un efecto de dilución en este mismo río. Los arrecifes más alejados de la costa tuvieron niveles de contaminación menores al límite. Los arrecifes Enmedio y Cabezo no mostraron contaminación por aguas residuales durante las dos temporadas. Dado que las macroalgas pardas no son consumidas por los peces herbívoros, el manejo sustentable de las cuencas y el tratamiento terciario de las aguas residuales son las mejores opciones para disminuir el aporte de C y N. Se sugiere incorporar al programa de manejo del PNSAV un monitoreo del  $\delta^{15}\text{N}$  y la relación C:N en macroalgas como indicadores de la fuente y la condición de enriquecimiento *vs* la limitación de N disuelto y de coprostanol como indicador de contaminación por aguas residuales no tratadas.

**Palabras clave:** contaminación, arrecife, Veracruz, isótopos, ácidos grasos, nitrógeno, macroalgas pardas, aguas residuales, SIAR, PNSAV.

## ABSTRACT

Coral has decreased its coverage over most of its geographical range and has been replaced by foliose macroalgae, mainly brown algae. These algae have unusual growth due to increased anthropogenic nutrients carried in rivers and wastewater. By knowing the contribution, sources and destinations of these nutrients, control strategies for reduction and even remediation can be established. The Veracruz Reef System National Park (PNSAV) coral food web was investigated to establish the contribution and routes of incorporation of terrestrial sources of nitrogen (N), as well as sources of organic carbon (C) both natural and anthropogenic. The N source and its relative concentration were evaluated using the isotopic N value and the C:N ratio. The contribution of the primary producers (natural source) was estimated through a mixing model of stable isotopes of C and N (SIAR) and the fate of the lipids and their structural components, the fatty acids (FA), were determined as indicators of carbon source quality in dry and rainy seasons. Anthropogenic sources of organic carbon were evaluated using coprostanol ( $5\beta$ -cholestan- $3\beta$ -ol) as a biomarker of the presence of human fecal contamination. Isotopic N ratios and the C:N ratio indicates that fertilizers were the main source of N for the macroalgae. This contribution also favored growth of phytoplankton and seagrass, and most consumers had a better nutritional status and higher retention of triacylglycerols in the rainy season. However, the nutritional status of the coral, *Montastrea cavernosa* decreased significantly. According to SIAR, phytoplankton was the main source of natural C transferred as essential FA to most of the food web. Mangrove C was transferred to juvenile fish mainly as monounsaturated FA and the C from seagrass was transferred to the whole food web as non-essential FA. Brown algae had the lowest C contribution to the system and were consumed mainly by echinoderms, while herbivorous fish preferred red algae. In terms of anthropogenic C sources, during the dry season, the Jamapa River had levels of coprostanol equivalent to a coliforms amount higher than the limit established by the Mexican regulation. In the rainy season, when the current flows from south to north, pollution was higher in Antón Lizardo. This affected the mouth of the Jamapa River and the Sacrificios reef with values above the limit, despite the fact that there was a dilution effect in this river. The reefs furthest from the coast had contamination levels below the limit. The Enmedio and Cabezo reefs did not show contamination by wastewater during the two seasons. Since brown algae are not consumed by

herbivorous fish, sustainable management of watersheds and tertiary treatment of wastewater are better options to reduce C and N supply. Monitoring programs should incorporate determination of  $\delta^{15}\text{N}$  and the C:N ratio in macroalgae as indicators of the source and extent of enrichment in the context of limitation of dissolved N, and of coprostanol concentrations as an indicator of wastewater contamination.

**Keywords:** Pollution, reef, Veracruz, isotopes, fatty acids, nitrogen, brown algae, sewage water, SIAR, PNSAV.

## INTRODUCCIÓN

Los arrecifes coralinos son reconocidos por su gran biodiversidad, tienen efectos en la atmósfera, en la circulación marina, en la química del océano, en la distribución de las especies y proporcionan servicios ambientales a decenas de millones de personas. Los arrecifes de coral son el hábitat crítico para diversas especies marinas, protegen las costas de la erosión y acción del oleaje, y son zonas de importancia económica por las pesquerías y el turismo. Se estima que el valor de los servicios ecosistémicos que los corales brindan asciende a miles de millones de dólares al año (Birkeland, 2015); sin embargo, en todo el planeta se presentan graves problemas que afectan su supervivencia (Burke *et al.*, 2011). En efecto, las pérdidas de coral vivo en los arrecifes durante los últimos 30-40 años son en el Gran Caribe de alrededor del 53 %, en el Indopacífico de 40 % y 50 % en la Gran Barrera (Birkeland, 2015). Las causas principales de esta pérdida son de origen humano, ya sea de manera directa o indirecta (Miller, 2015).

En el golfo de México, frente a las costas de la Zona Metropolitana de Veracruz (ZMV), se encuentra el PNSAV, el mayor sistema coralino del suroeste del golfo (Tunnell, 2007), el cual está sujeto a presiones antropogénicas debido a la presencia de la ciudad costera más grande de la región y de

un puerto de altura; y a la descarga de los ríos La Antigua, Jamapa y Papaloapan (Sallas-Pérez & Granados-Barba, 2008; Pérez-España *et al.*, 2012) que superan los  $45 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$  (CNA, 2011) y, aunque se desconoce el volumen total de aguas urbanas, se sabe que existen al menos 35 descargas de drenaje directo al mar (Vázquez-Guerra, 2018).

Las descargas urbanas sobre los arrecifes coralinos han sido un problema desde hace varias décadas (*e.g.* Pastorok & Bilyard 1985) y actualmente continúan siendo una fuente de contaminación a los ríos (Bujagic *et al.*, 2016) y junto con las descargas de los ríos incrementan la sedimentación y las concentraciones de nutrientes y compuestos tóxicos. La cobertura coralina del PNSAV disminuyó del 33 % en los 1960s a 19 % a finales de los 1980s y se ha mantenido en estado estacionario (~20 %) (Horta-Puga *et al.*, 2015). En comparación con los arrecifes del Caribe que disminuyeron a 14 % en el mismo periodo según la red de monitoreo global (Jackson *et al.*, 2014).

El aporte de aguas urbanas residuales y descargas de ríos trae consigo sedimentos y grandes cantidades de nutrientes de las zonas agrícolas, así como contaminantes como hidrocarburos, plaguicidas y metales pesados, cuya incorporación amenaza la salud de los arrecifes coralinos (ISRS, 2004). Este capítulo

lo es una integración de los estudios realizados en el PNSAV por los autores para evaluar la contribución y el destino de las fuentes terrestres de N y C, tanto de las fuentes naturales (productores primarios) como antropogénicas (aguas residuales), a través de dos enfoques: 1) evaluar el N mediante la determinación de las concentraciones de isótopos estables de C y N, y de la razón C:N; y 2) evaluar el carbono mediante la determinación de ácidos grasos (AG) y esteroides.

### ORIGEN Y DESTINO DEL NITRÓGENO USANDO ISÓTOPOS ESTABLES Y LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

El incremento en la disponibilidad de nitrógeno inorgánico generalmente deriva en un aumento de la abundancia de productores primarios debido a que es necesario para la síntesis de clorofila y, por tanto, de la fotosíntesis; sin embargo, una alta biomasa de productores primarios que no alcanza a ser aprovechada por los consumidores primarios puede causar efectos adversos como la disminución de la cobertura del coral y su sustitución por macroalgas y en casos muy extremos la eutrofización (Fabricius, 2011). El nitrógeno se presenta en diferentes formas en el agua, incluyendo nitrógeno diatómico ( $N_2$ ), amonio ( $NH_4^+$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ) y otros óxidos de N, así como en compuestos orgánicos como el amonio, el cual, normalmente se encuentra en baja concentración en aguas oxigenadas donde las bacterias lo oxidan a nitrato (Sze, 1998).

El nitrógeno presenta dos isótopos estables:  $^{14}N$  y  $^{15}N$ ; el más común en la naturaleza es el  $^{14}N$ . El contenido de  $^{15}N$  de una sustancia es expresada como su desviación isotópica,  $\delta^{15}N$ , respecto al estándar que

es el aire atmosférico (AIR). Debido a que el nitrógeno atmosférico es el estándar de referencia, su valor es de 0 ‰ (partes por mil). En los productores primarios podemos detectar la fuente de nitrógeno en el medio por su valor isotópico  $\delta^{15}N$ . Este valor se puede seguir en los siguientes niveles tróficos dado que metabólicamente el  $^{14}N$  es usado preferentemente en el metabolismo y el  $^{15}N$  se acumula (DeNiro & Epstein, 1981). La acumulación de  $^{15}N$  se denomina “enriquecimiento” y se ha detectado de 3 a 4 ‰ entre cada nivel trófico (Michener & Shell, 1994). Los isótopos de N se usan como indicadores o marcadores de la fuente de N y para determinar el valor trófico relativo a la fuente (productores primarios) en las redes tróficas marinas (Hobson *et al.*, 1995).

La razón isotópica del  $\delta^{13}C/^{12}C$  se utiliza como indicador de la fuente de C de los productores primarios y se puede trazar hacia los consumidores primarios en ecosistemas cuyas fuentes de C sean significativamente distintas. Por ejemplo, en las plantas vasculares el valor de  $\delta^{13}C$  de los pastos marinos (-14‰), está relacionado con su habilidad de usar bicarbonato como fuente de C (Beer *et al.*, 2002) que tiene un  $\delta^{13}C$  más enriquecido (menos negativo) que el  $CO_2$ , mientras que las plantas terrestres como el manglar cuya fuente de C es el  $CO_2$  tienen un valor menos enriquecido (más negativo) de -29 ‰ (Lapointe *et al.*, 2004).

Los modelos de mezcla de isótopos estables han facilitado el cálculo del aporte de la dieta en los consumidores (Parnell *et al.*, 2010). En este capítulo se muestran los resultados de nuestras investigaciones en el PNSAV. Se usó el modelo de mezcla para cal-

cular el aporte de los productores primarios indirectamente y discriminar el origen del C y N en los niveles más altos de las cadenas tróficas (Carreón-Palau *et al.*, 2013).

Por otro lado, la relación C:N se utilizó como un indicador de la condición de limitación o enriquecimiento del N disuelto para los productores primarios en el PNSAV (Carreón-Palau *et al.*, 2018). Las plantas suelen estar limitadas en N en comparación con el contenido de C debido a la contribución de la celulosa y su relación C:N es mayor que la del fitoplancton, debido a lo anterior el fitoplancton tiene mejor calidad para los consumidores primarios por su aporte de N principalmente como proteínas; sin embargo, cuando las plantas están en un medio enriquecido en nitrógeno lo acumulan disminuyendo la relación C:N.

#### ORIGEN Y DESTINO DEL CARBONO ORGÁNICO USANDO ÁCIDOS GRASOS Y ESTEROLES COMO BIOMARCADORES

Los ácidos grasos son las unidades estructurales de los lípidos (grasas) y tienen tres funciones principales en los organismos, 1) como reserva energética en depósitos grasos constituyendo ceras y triglicéridos (TAG), con un valor energético de hasta 9.4 kcal g<sup>-1</sup>, 2) como elementos estructurales de las membranas celulares organizados en una doble capa lipídica con propiedades anfipáticas; constituyendo fosfolípidos y esfingolípidos, o bien, como galactolípidos en las membranas tilacoidales de los cloroplastos de las células vegetales, y 3) como precursores de eicosanoides, sustancias parecidas a las hormonas que regulan procesos de inflamación, vasodilatación, vaso constricción y coagulación.

Algunos AG se consideran esenciales dado que las células autótrofas (vegetales) tienen dos enzimas que no están presentes en células heterótrofas (animales) con las que se sintetizan los ácidos linoléico (18:2 $\omega$ 6) y  $\alpha$ -linoléico (18:3 $\omega$ 3). Debido a lo anterior se consideran esenciales para los animales y son el origen de las dos principales series de AG poliinsaturados  $\omega$ 6 y  $\omega$ 3.

Los AG de la serie  $\omega$ 6 tienen las funciones de modular la estructura de la membrana, formar moléculas biológicamente activas de vida corta (eicosanoides) responsables de la inflamación, formación de plaquetas y vaso constricción de venas y arterias, y de controlar la impermeabilidad en la piel y regular la síntesis y el transporte de colesterol (Demetz *et al.*, 2014). A su vez, los AG de la serie  $\omega$ 3 tienen las funciones de formar la mielina que favorece la comunicación neuronal y, por lo tanto, el funcionamiento del sistema nervioso de los animales. Son precursores de moléculas bioactivas como los tromboxanos A<sub>2</sub>, que evitan la agregación de plaquetas, promueven la dilatación de vasos sanguíneos y permiten una reacción de coagulación más lenta. A partir del 18:2  $\omega$ 6 se sintetiza el ácido araquidónico (20:4 $\omega$ 6 o ARA) y a partir del 18:3 $\omega$ 3 el eicosapentaenoico (20:5 $\omega$ 3 o EPA). Los eicosanoides derivados del 20:4 $\omega$ 6 y el 20:5 $\omega$ 3 son antagonistas entre sí y compiten por la enzima ciclooxigenasa (Cohen *et al.*, 1995).

En los humanos, un desbalance en la dieta en favor de los  $\omega$ 6, abundantes en los aceites provenientes de semillas de plantas terrestres, conduce a problemas como la arteriosclerosis, trombosis, presión sanguínea alta, cáncer de colon y próstata, así como a enfermedades relacionadas con reacciones

de inflamación como asma, artritis, soriasis, lupus eritematoso y nefritis. Dichas enfermedades se pueden prevenir y controlar con una dieta rica en AG  $\omega 3$  que se encuentran en los peces marinos como resultado de la transferencia en las redes tróficas marinas. La proporción  $\omega 6:\omega 3$  óptima para los seres humanos es de 2:1 pero se considera buena hasta 7:1 (Cohen *et al.*, 1995).

Los ácidos poliinsaturados (PUFA, por sus siglas en inglés) de la serie  $\omega 6$  como el 20:4  $\omega 6$  o ARA y de la serie  $\omega 3$  como el 20:5  $\omega 3$  o EPA y el 22:6  $\omega 3$  o DHA, son indicadores de la calidad del C orgánico proveniente de los productores primarios. Se sintetizan principalmente por las microalgas marinas que son de vida libre como las diatomeas que componen la mayor parte del fitoplancton o como simbiosis de los corales como las zooxantelas (dinoflagelados).

En este capítulo se presentan los resultados de la transferencia trófica de dichos AG a partir de los principales productores primarios del PNSAV: manglar, pastos marinos, macroalgas, fitoplancton y zooxantelas hacia los diferentes consumidores erizos, esponjas, corales, moluscos y peces.

Por otro lado, los esteroides son moléculas orgánicas que desempeñan papeles importantes en la fisiología de los organismos eu-

cariontes. Por ejemplo, el colesterol forma parte de la membrana celular en animales controlando la fluidez de la membrana, y funge como segundo mensajero en señales hormonales durante el desarrollo de los organismos. El tipo de esteroide más común en los vertebrados es el colesterol, que es vital para la estructura de la membrana de la célula animal, y funciona como un precursor de vitaminas solubles en grasas y hormonas esteroideas. A su vez, el coprostanol 5 $\beta$ -Coprostanol (5 $\beta$ -colestano-3 $\beta$ -ol) es un esteroide producto de la biohidrogenación del colesterol por actividad bacteriana durante su paso por el tracto digestivo de los seres humanos. Se usa como biomarcador de la presencia de residuos de heces humanas en ambientes marinos, provenientes de aguas residuales (Bethell *et al.* 1994, Bujagic *et al.*, 2016). Debido a que el coprostanol no es soluble en agua, se encuentra asociado a la materia suspendida particulada (MSP) en la columna de agua o en los sedimentos (Bull *et al.*, 2002, Bujagic *et al.*, 2016).

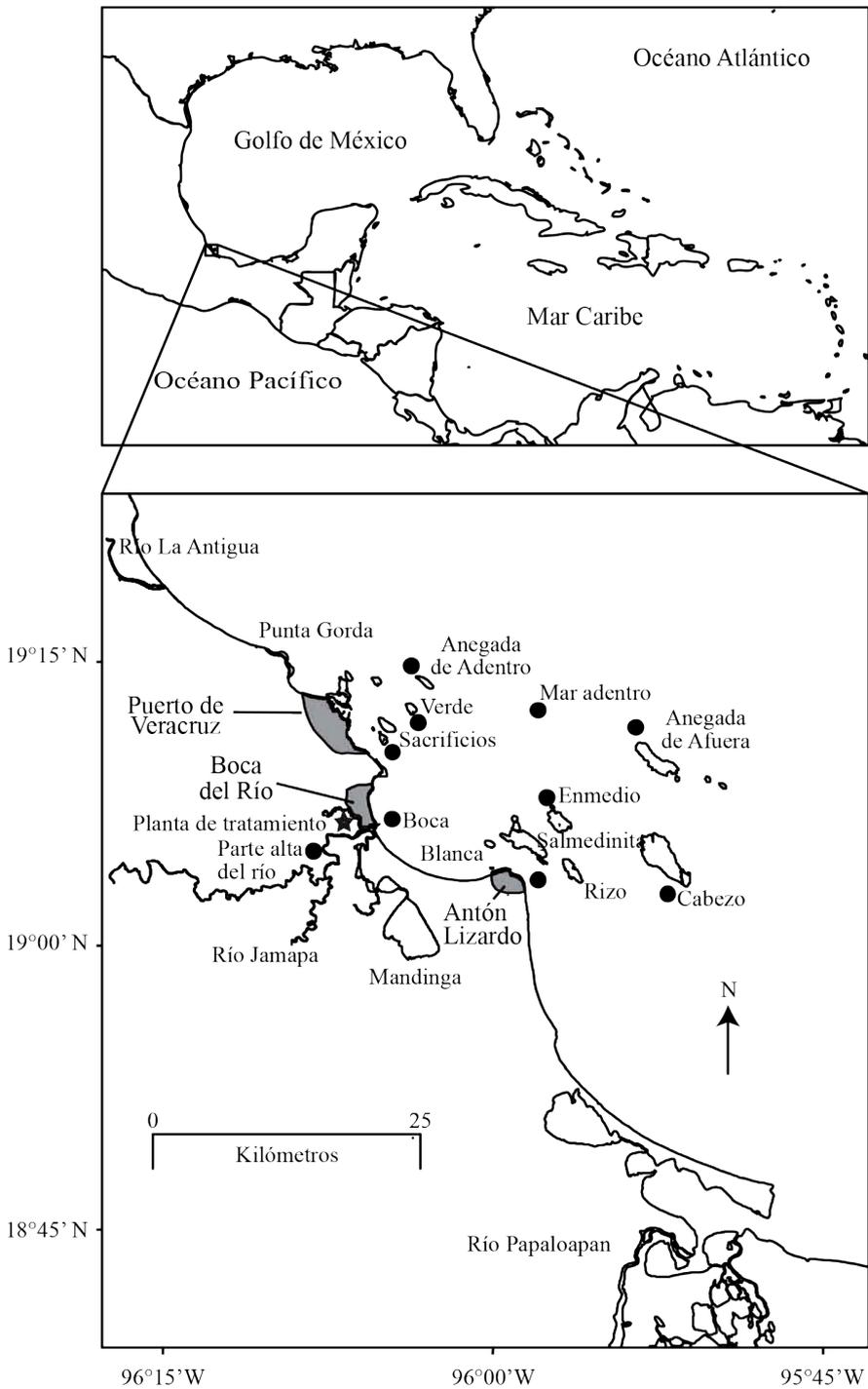
En la última parte del capítulo se muestran los resultados de los esteroides como biomarcadores de C antropogénico en la MSP del PNSAV (Carreón-Palau, 2015; Carreón-Palau *et al.*, 2017).

## MÉTODOS

### UBICACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

El PNSAV se encuentra en el suroeste del golfo de México, entre 19°02'24.00" y 19°15'27.11"N, y entre 96°12'01.00" y 95°46'46.19"W (DOF, 2012), y está delimitado al norte por el río La Antigua y al

sur por el río Papaloapan, con el río Jamapa descargando al centro del área. El PNSAV está constituido por grupos de arrecifes adyacentes al puerto y ciudad de Veracruz hacia el norte y a la población de Antón Lizardo hacia el sur (figura 1).



**Figura 1.** Mapa del Sistema Arrecifal Veracruzano. La estrella muestra la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), los puntos representan los sitios de muestreo para materia suspendida particulada.

La región del PNSAV es afectada por dos procesos atmosféricos estacionales que resultan en diferentes condiciones oceanográficas. Durante el invierno (noviembre–mayo), las incursiones frontales de los sistemas del norte (Nortes), producen vientos de 120 km h<sup>-1</sup> y una corriente marina en dirección hacia el sur. En esta temporada, la precipitación mensual es de 34 ± 15 mm (temporada seca). Durante el verano (junio a octubre), las condiciones atmosféricas son dominadas por las tormentas tropicales del sur, que producen altas tasas mensuales de precipitación de 265 ± 99 mm (temporada de lluvias), y el sistema de corrientes fluye con dirección norte (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003).

Las temperaturas más altas (26-30 °C) se registran entre mayo y octubre, mientras que las más bajas (20-22 °C) se registran de noviembre a marzo (Okolodkov *et al.*, 2011). Durante el verano cuando los vientos vienen del sur, un remolino ciclónico se desarrolla frente al puerto de Veracruz, que favorece la productividad primaria y secundaria del área. En el invierno cuando los vientos vienen del Norte o hay vientos variables hacia el sur, dicha productividad disminuye en el área (Salas-Monreal *et al.*, 2009).

#### SELECCIÓN DE MIEMBROS DE LA TRAMA TRÓFICA

Se seleccionaron los productores primarios, *i.e.*, la mayoría de las macroalgas dominantes y el pasto marino, con la ocurrencia estacional más amplia según Okolodkov *et al.* (2007). Para la selección de miembros de la red alimentaria superior se utilizaron criterios basados en la biomasa, la frecuencia, la abundancia y la presencia en estaciones tanto secas como lluviosas de un estudio

previo en el PNSAV (Pérez-España & Vargas-Hernández, 2008). La estimación del nivel trófico (TL) de 1 fue asignado a productores primarios; para los consumidores, el TL se estimó en 1 + (el promedio ponderado del nivel trófico de presa). Así, un consumidor que consuma 40% de plantas (TL= 1) y 60% de herbívoros (TL= 2), tendrá un nivel trófico de  $1 + [(1 \times 0.4) + [2 \times 0.6)] = 2.6$ .

#### COLECTA DE MUESTRAS

Los productores primarios se colectaron al final de la estación seca en abril de 2007 y 2008. Los especímenes de algas verdes *Halimeda opuntia*, algas café *Dictyota sp.*, y algas rojas *Galaxaura sp.*, así como la especie más abundante de pasto marino, *Thalassia testudinum*, fueron colectados por buceo libre en la laguna arrecifal del Cabezo. Se recogieron hojas de mangle a mano (con guantes de nitrilo), de árboles ubicados en Arroyo Moreno en el margen del río Jamapa. El material particulado suspendido (MPS) se colectó utilizando protocolos de muestreo de plancton (Okolodkov *et al.*, 2011). Las muestras fueron tomadas desde una embarcación pequeña (panga), realizando arrastres de redes con una luz de malla de 30 y 120 µm para recolectar fitoplancton y zooplancton, respectivamente. Las redes fueron remolcadas a 2 km h<sup>-1</sup> por 5 min y se tomó una alícuota para identificación (Okolodkov *et al.*, 2011) como parte del proyecto. Se seleccionaron 9 estaciones del PNSAV: la desembocadura del río Jamapa, arrecifes Enmedio, Cabezo, Anegada de Afuera, Anegada de Adentro, Verde y Sacrificios, una estación fuera de la costa entre Anegada de Adentro y Anegada de Afuera, y una estación fuera de la costa del pueblo de Antón Lizardo (figura 1).

También se colectaron muestras de plancton y pasto marino al final de la temporada lluviosa en octubre de 2008, para investigar la variación estacional en sus AG. Las muestras de plancton se centrifugaron para concentrar la biomasa, y las macroalgas se limpiaron de epífitas.

Los organismos de niveles tróficos superiores fueron colectados al final de la temporada lluviosa en septiembre-octubre de 2007 y al final de la temporada seca en abril-mayo de 2008. Se tomaron muestras en los arrecifes de Cabezo, Rizo y Salmedinita en el sur y en los arrecifes Sacrificios y Anegada de Adentro en el norte. Los buzos siguieron un transecto desde la parte más profunda del arrecife hasta la más somera, colectando peces grandes con un arpón y peces pequeños con una solución anestésica de eugenol (Santander-Monsalvo, 2010). Para el análisis de tejidos blandos completos, se obtuvieron muestras de erizos de mar (*Echinometra lucunter*) y pequeños peces (*Coryphopterus personatus* y *Halichoeres burekai*). Submuestras de tejido muscular fueron tomadas del pez cirujano *Acanthurus chirurgus*, de la vieja española *Bodianus rufus*, el pargo de cola amarilla *Ocyurus chrysurus*, y de la cojinuda *Caranx hippos*.

El C orgánico de las aguas residuales urbanas se rastreó con esteroides, en particular con coprostanol. Las localidades incluyen dos estaciones antes y después de la PTAR de Boca del Río, que desemboca en el cárcamo de la Zamorana, una estación aguas arriba en el río Jamapa y nueve estaciones en el PNSAV. Se tomaron muestras de agua de mar superficial con una botella de plástico. Las botellas se preservaron en hielo en condiciones de obscuridad (~ 5 h) hasta llegar al labo-

ratorio. Se filtraron entre 0.5 y 4 L de agua de mar usando una bomba de vacío, a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F (47 mm diámetro y un tamaño de poro nominal de 0.7 mm) previamente incinerado a 480 °C por 24 h y llevados a peso constante (Carreón-Palau *et al.*, 2017). Los filtros GF/F se enjuagaron con agua destilada antes de ser liofilizados.

Todas las muestras se deshidrataron en una liofilizadora (Lyophilizer Virtis 5L) y fueron molidas hasta obtener un polvo fino con el fin de homogenizarlas antes de pesarlas en una balanza analítica (Heraeus, peso máximo de 60 g).

#### ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES

Los lípidos no se extrajeron para incluirlos como fuente alimenticia en las señales isotópica (Matthews & Mazumder, 2005). Se pesaron submuestras de alrededor de 2 mg con dicha balanza analítica y se analizó el  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  en un espectrómetro de masas de relaciones isotópicas (OPTIMA) interconectado en flujo continuo a un analizador elemental Carlo Erba NA 1500 en la Universidad de California en Santa Cruz. La precisión del instrumento fue del 0.14 ‰ para el nitrógeno y del 0.08 ‰ para el carbono. Los resultados se compararon con respecto a los estándares internacionales de nitrógeno atmosférico (AIRE,  $\text{N}_2$ ) para nitrógeno y Viena Pee Dee Belemnite (V-PDB) para el carbono. Las relaciones de isótopos de nitrógeno y carbono estables se expresan cómo:

$$\delta^{15}\text{N} \text{ o } \delta^{13}\text{C} = \left[ \left( \frac{R_{\text{muestra}}}{R_{\text{estándar}}} - 1 \right) \right] \times 1000$$

dónde R es  $^{15}\text{N}$ : $^{14}\text{N}$  para  $\delta^{15}\text{N}$  y  $^{13}\text{C}$ : $^{12}\text{C}$  para  $\delta^{13}\text{C}$ .

### ANÁLISIS DE LÍPIDOS, ÁCIDOS GRASOS Y ESTEROLES

Los lípidos totales se extrajeron con cloroformo: metanol: agua en proporciones 2:1:0.8 según Parrish (1999), y los extractos lipídicos de cada muestra fueron divididos en dos porciones. La primera porción fue separada en clases de lipídicas por cromatografía en capa fina empleando un Iatroscan-Chromarod (Parrish, 1987) para cuantificar los triacilglicéridos (TAG) y los esteroides totales (ST). La segunda porción del extracto lipídico se derivatizó con ácido clorhídrico y metanol 5:95 calentado a 85 °C durante 2.5 h para obtener ésteres metílicos de los AG (AGME o FAME por sus siglas en inglés) (Sato & Murata 1988). Los AGME se extrajeron mediante tres lavados en hexano puro que posteriormente se evaporó con nitrógeno. Los AGME se recuperaron en 0.5 ml de hexano puro y se analizaron en un cromatógrafo de gases Varian 3800 con un detector de espectrómetro de masas (GC-MS, por sus siglas en inglés), empleando una columna Omegawax 250 (Supelco) de 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm. Los picos cromatográficos se identificaron por el tiempo de retención de los estándares y la interpretación de sus espectros de masas. Las áreas se integraron con el Software Wsearch 32 (Wsearch 2008; versión 1.6 2005). La cuantificación se realizó por interpolación de las áreas de los picos con una curva de calibración de 37 estándares de AG (Supelco 47885-U).

Por otro lado, se pesaron los filtros liofilizados para obtener la concentración seca del MPS. Las muestras de MPS colectadas con los filtros GF/ F se usaron para determinar este-

roles después de inyectar los AG. Para esto el hexano se secó con nitrógeno gaseoso (dichos datos no se muestran en este capítulo pero se pueden revisar en Carreón-Palau *et al.*, 2017) y los esteroides se trimetil sililaron con 100 μL de bis-trimetil silil-trifluoro acetamida (BSTFA) Supelco: 3-2024 a 85 °C durante 15 min, se recuperaron en hexano y se analizaron en un cromatógrafo de gases-detector de masas Hewlett Packard 6890 GC-MS con una columna DB-5 30 m 0.32 mm x 0.25 mm. Los picos de los esteroides se identificaron con los tiempos de retención de los estándares usados (Sigma-Aldrich) y la interpretación de sus espectros de masas (Carreón-Palau *et al.*, 2017). Se creó una curva de calibración con colesterol, campesterol y sitosterol de 10 a 200 μg mL<sup>-1</sup>. El volumen de hexano se ajustó para obtener una concentración de cada esteroide en el rango lineal medible. Las áreas fueron integradas con el software Wsearch 32 (Wsearch, 2008; versión 1.6, 2005). Las proporciones de los esteroides se determinaron con un Varian GC-FID. Las áreas se integraron con el software Galaxy y cada área de esteroide se calculó como la proporción del área total. Esta proporción se relacionó con la fracción de ST con respecto a la de biomasa seca para obtener la concentración del coprostanol por unidad de biomasa seca (ng mg<sup>-1</sup>) y con respecto al volumen filtrado (ng L<sup>-1</sup>).

### ANÁLISIS DE DATOS

La contribución relativa de las diversas fuentes de productores primarios a los diferentes consumidores se estimó mediante un modelo de mezcla de isótopos estables bayesiano. El código de este modelo se obtuvo del paquete de acceso libre en lenguaje R, Análisis de Isótopos Estables en R (SIAR- Stable Isoto-

pe Analysis in R) utilizando R studio (2012; versión 0.96.316, 2009-2011). El modelo permite la inclusión de los valores isotópicos y de fraccionamiento trófico junto con la incertidumbre (*i.e.* desviación estándar) de estos valores dentro del modelo. El modelo SIAR se ajusta con cadenas de Markov Monte Carlo (MCMC), para producir simulaciones de valores plausibles de las proporciones de la contribución de cada ítem de la dieta a los consumidores, consistentes con los datos, se usa una distribución previa de Dirichlet (Parnell *et al.*, 2010). Las distribuciones de probabilidad resultantes de las contribuciones relativas de diferentes fuentes a la dieta de consumidores, producidas por SIAR, permiten la identificación directa de la solución más probable (es decir, el valor mediano) (Parnell *et al.*, 2010). Los factores de fraccionamiento promedio se establecieron en  $1.1\text{‰} \pm 0.3\%$  y  $2.8\text{‰} \pm 0.4\%$  para C y N, respectivamente (McCutchan *et al.*, 2003). En este estudio el uso del modelo no fue restringido a la dieta (ítems) para cada nivel trófico; sino que se consideraron todos los productores primarios colectados como fuentes potenciales para todos los consumidores (Carreón-Palau *et al.*, 2013).

La concentración individual de AG ( $\text{mg g}^{-1}$  de peso seco) en los niveles tróficos superiores se corrigió para la contribución relativa de cada productor primario según el modelo de mezcla isotópico (ecuación 1),

$$\text{Ec. 1: } [C_s] = [C_{\text{cons}}] \times (P_s/100).$$

dónde  $C_s$  = la concentración de AG en el consumidor corregidos por la proporción de fuente ( $\mu\text{g mg}^{-1}$ ),  $C_{\text{cons}}$  = concentración de

AG en el consumidor ( $\text{mg g}^{-1}$ ), y  $P_s$  = la proporción de la fuente en el consumidor (%).

La retención corregida de AG de cada productor primario se evaluó en los niveles tróficos superiores utilizando el factor de retención trófica (FRT). La retención de los ácidos grasos depende de los requerimientos fisiológicos de los organismos. Esto puede resultar en menor o mayor concentración de AG por unidad de biomasa y está regulado por los consumidores. En este estudio, la concentración de AG con respecto al peso seco de los peces pequeños y los erizos de mar se refieren al organismo homogenizado sin tejidos calcáreos. Mientras que en los niveles tróficos más altos se usó músculo para el cálculo del FRT. La ecuación 2 fue utilizada para calcular el cambio de los AG por nivel trófico relativo de cada productor primario utilizado el logaritmo natural de la concentración de peso seco ( $C_{\text{dry wt}}$ ) de organismos individuales *vs.* su nivel trófico (TL):

$$\text{Ec. 2: } \ln [C_{\text{dry wt}}/C_0] = \alpha + \beta \times \text{TL}$$

dónde  $C_0$  = una unidad estándar de concentración ( $1 \text{ mg g}^{-1}$ ),  $\alpha$  = el intercepto,  $\beta$  = la pendiente, y TL= el nivel trófico sin unidades.  $\text{FRT} = e^\beta$ . El Software Minitab (versión 15.1.1.0, 2007) se utilizó para probar la significancia de la regresión mediante un análisis básico de varianza: un valor de probabilidad de  $p < 0.05$ , significa que la pendiente  $\beta$  es significativamente diferente de cero o que el  $\text{FRT} = e^\beta$  es diferente de 1. Los valores de  $\text{FRT} = 1$  indican que no hubo cambio trófico con respecto a la fuente,  $\text{FRT} > 1$  significa retención trófica, y  $\text{FRT} < 1$  significa disminución trófica, probablemente por el cata-

bolismo o alargamiento y/o desaturación de la cadena de carbonos de cada ácido graso.

La proporción de ceras y esteril esterés y de TAG con respecto al total de lípidos, la proporción C:N, la proporción TAG:ST de los diferentes miembros de la trama trófica, así como la proporción de gorgosterol con respecto a los esteróles totales del coral *M. cavernosa* se compararon entre temporadas con un análisis de varianza de una vía ( $\alpha = 0.05$ ) con el programa estadístico minitab versión 15.

Por otro lado se estableció el valor de referencia del coprostanol a partir de dos muestras de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que procesa residuos de > 140 000 personas y se ubica cerca del PNSAV. Estos valores se contrastaron con los obtenidos durante las temporadas de secas y lluvias en mayo y octubre de 2008, respectivamente. La concentración de coprostanol se comparó con su equivalente en el número más probable de coliformes fecales (Isobe *et al.*, 2004). Se utilizó el programa SURFER para mostrar la distribución espacial en la temporada de secas y lluvias.

## RESULTADOS

### ISOTOPOS ESTABLES Y LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

Los productores primarios mostraron valores isotópicos de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y de nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ) suficientemente diferentes ( $\alpha < 0.05$ ) como para separarlos entre sí, lo que permite trazarlos en la red trófica (Carreón-Palau *et al.*, 2013). Por ejemplo, los productores primarios terrestres (mangle) tuvieron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  muy por debajo de los productores primarios marinos (pastos marinos, macroalgas y fitoplancton) (figura 2). El alga roja *Galaxaura* sp. Mostró valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de  $-2.0\% \pm 1.5\%$ , el alga verde *H. opuntia* mostró valores de  $-0.7\% \pm 0.8\%$ , y el alga parda *Dictyota* sp. valores de  $-0.09\% \pm 0.68\%$ . En contraste, el fitoplancton mostró los valores más altos en este estudio ( $5.1\% \pm 0.6\%$ ). En el caso de el pasto marino *T. testudinum* los

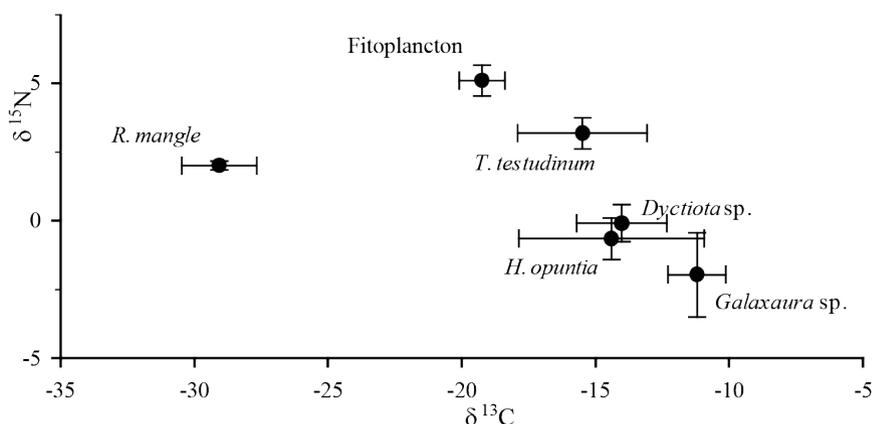
valores fueron intermedios ( $3.3\% \pm 0.6\%$ ). El manglar *R. mangle* tuvo valores similares, consistentes con un suelo inundado ( $2.0\% \pm 0.2\%$ ).

El manglar (*R. mangle*) presentó una relación C:N que osciló entre 15 y 25 (figura 3). Del mismo modo, el pasto marino (*T. testudinum*) tuvo una relación C:N de  $16 \pm 3$  (tabla 2). El alga roja (*Galaxaura* sp.) tuvo la relación C:N más grande ( $26 \pm 2$ ), similar al alga verde *H. opuntia*, ambos significativamente más altos que el del alga café *Dictyota* sp. ( $20 \pm 1$ ), ( $F_{5, 21} = 4.7$ ,  $p = 0.008$ ) (tabla 2). Para el fitoplancton, se observaron ligeras diferencias en la relación C:N entre la temporada de secas ( $10 \pm 2$ ) y la temporada de lluvias ( $12 \pm 1$ ); sin embargo, dichas diferencias no fueron significativas (tabla 2).

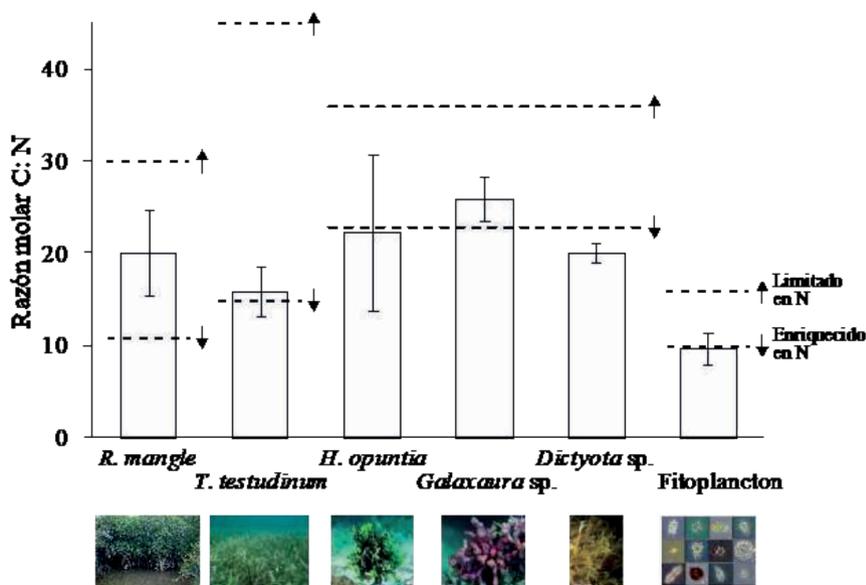
**Tabla 1.** Clasificación taxonómica, localidad, tamaño de la muestra para lípidos y tamaño de la muestra para los análisis de carbono y nitrógeno (entre paréntesis) de los productores primarios y consumidores colectados en el PNSAV. Tomado de Carreón-Palau *et al.* (2018).

Muestra/Nombre científico (nombre común)	Reino/Filum/ Clase/Orden/ Familia	Secas (n)	Lluvias (n)	Localidad Temporada Secas	Localidad Temporada Lluvias
<i>Rhizophora mangle</i> (manglar rojo)	Plantae / Traqueofita / Angiospermas/ Myrtaceas / Rhizophoraceas	4(4)	-	Lagos de Moreno	-
<i>Thalassia testudinum</i> (pasto marino)	Plantae / Traqueofita / Angiospermas / Najadales / Hydrocartaceas	3(4)	-	Rizo	Cabezo
<i>Halimeda opuntia</i> (alga verde)	Plantae/ Chlorofita / Bryopsidoficeas / Bryopsidales / Halimedaceas	5(4)	-	Cabezo	-
<i>Galaxaura</i> sp. (alga roja)	Plantae / Rhodofita /Florideoficeas / Nemaliales / Galaxauraceas	4(3)	-	Cabezo	-
<i>Dictyota</i> sp. (alga café)	Plantae / Chromalveolata / Heterokontofita / Phaeoficeas / Dictyotales / Dictyotaceas	4(4)	-	Cabezo	-
Zooxantelas	Dinoflagelados/ <i>Symbiodinium</i> sp.	-	4(0)	-	Blanca
30 µm arrastre	Fitoplancton	9(5)	9(4)		
120 µm arrastre	Zooplancton	9(4)	9(4)		
<i>Pinna carnea</i> (callo de hacha)	Animalia / Mollusca /Bivalvia Pterioidea/ Pinnidae	7(0) I, H	4(0) I, H	Giote y Cabezo	Giote y Cabezo
<i>Aplysina</i> sp. (esponja)	Animalia / Porifera / Demospongiae / Verongida /Aplysiniidae	6(0)	2(0)	Giote y Blanca	Verde y Cabezo
<i>Montastrea cavernosa</i> (coral)	Animalia / Cnidaria / Scleractinia / Faviidae	7(0)	4(0)	Cabezo y Blanca	Cabezo y Blanca
<i>Echinometra lucunter</i> (erizo de mar)	Animalia / Echinodermata / Echinoidea / Echinoidea / Echinometridae	3(14) I	4(13) H	Blanca	Cabezo
<i>Acanthurus chirurgus</i> (cirujano)	Animalia / Chordata / Actinopterygii / Beryciformes / Acanthuridae	4(10) M, H	5(5) M, H	Salmedina	Rizo
<i>Coryphopterus personatus</i> (gobio enmascarado)	Animalia / Chordata / Actinopterygii / Perciformes / Gobidae	3(6)	5(18)	Blanca	Verde y Anegada Adentro
<i>Bodianus rufus</i> (pez perro)	Animalia / Chordata / Actinopterygii / Perciformes / Labridae	3(7) I, M	5(15) I, M	Anegada Adentro	Anegada Adentro
<i>Ocyurus chrysurus</i> (pargo de cola amarilla)	Animalia / Chordata / Actinopterygii / Perciformes / Lutjanidae	3(10) I, M, H	5(15) M, H	Verde	Santiagoullo
<i>Caranx hippos</i> (cojinuda)	Animalia / Chordata / Actinopterygii / Perciformes / Carangidae	3(10) I	4(9) I	Mandinga	Boca del río Jamapa

M = Machos, H = Hembras, I = Inmaduros



**Figura 2.** Valores isotópicos del  $\delta^{13}\text{C}$  y del  $\delta^{15}\text{N}$  en los productores primarios del Sistema Arrecifal Veracruzano. Valores menos enriquecidos (más negativos) en el  $\delta^{13}\text{C}$  permiten separar los productores primarios terrestres (*R. mangle*) de los marinos como el fitoplancton, los pastos marinos (*T. testudinum*), y las macroalgas (*Dictyota* sp., *H. opuntia* y *Galaxaura* sp.). Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  cercanos a cero, como los que se observan en las macroalgas, permiten identificar la fuente de nitrógeno basada en fertilizantes agrícolas, ya que éstos son elaborados a partir de nitrógeno atmosférico. Valores más enriquecidos denotan una mayor contribución de fuentes orgánicas resultantes de la descomposición bacteriana.



**Figura 3.** Relación molar carbono: nitrógeno en los productores primarios del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Los arrecifes coralinos en condiciones prístinas se caracterizan por estar limitados en nitrógeno, condición representada por valores por encima de las líneas punteadas superiores (con flechas hacia arriba). En el PNSAV los valores cercanos o por debajo de las líneas punteadas inferiores (con las flechas hacia abajo) indican condiciones de enriquecimiento con nitrógeno, lo que denota un exceso de nutrientes.

**Tabla 2.** Longitud estándar, peso húmedo y calidad nutricional de los productores primarios y condición nutricional de los consumidores en el PNSAV. Nivel trófico de acuerdo a Carreón-Palau *et al.* (2013), tomado de Carreón-Palau *et al.* 2018.

Miembro de la red trófica	Temporada	Longitud estándar (cm)	Peso húmedo (g)	Nivel trófico	Relación molar de C: N	Lípido totales (mg g <sup>-1</sup> peso seco)	Relación TAG: ST
<b>Productores primarios</b>							
<i>R. mangle</i> (hojas)	secas	8±2 <sup>a</sup>	0.4±0.1 <sup>a</sup>	1	20±5 <sup>a</sup>	24±17 <sup>b</sup>	0.8±0.7 <sup>a</sup>
<i>T. testudinum</i> (hojas)	secas	35±5 <sup>b</sup>	2±1 <sup>b</sup>	1	16±3 <sup>ab</sup>	10±4 <sup>a</sup>	1.5±1.4 <sup>a</sup>
<i>H. opuntia</i> (completo)	secas	5±1 <sup>c</sup>	29±20 <sup>c</sup>	1	22±8 <sup>a</sup>	36±19 <sup>b</sup>	13±11 <sup>a</sup>
<i>Galaxaura</i> sp. (completo)	secas	12±3 <sup>a</sup>	22±3 <sup>c</sup>	1	26±2 <sup>a</sup>	5±2 <sup>a</sup>	3.2±2.7 <sup>a</sup>
<i>Dictyota</i> sp. (completo)	secas	9±2 <sup>a</sup>	15±2 <sup>c</sup>	1	20±1 <sup>a</sup>	25±7 <sup>b</sup>	0.4±0.3 <sup>a</sup>
Fitoplancton (× m3)	secas	0.00003 <sup>d</sup>	0.04±0.01 <sup>d</sup>	1	10±2 <sup>b</sup>	27±5 <sup>b</sup>	1.9±0.2 <sup>a</sup>
Fitoplancton (× m3)	lluvias	0.00003 <sup>d</sup>	0.02±0.01 <sup>d</sup>	1	12±1 <sup>b</sup>	51±30 <sup>bc</sup>	20±19 <sup>a</sup>
<b>Simbiontes</b>							
Zooxantelas (5±2 cm2)	lluvias	-	0.17±0.03 <sup>e</sup>	1	-	73±13 <sup>c</sup>	2.1±1.2 <sup>a</sup>
Estadístico		IC 95%	IC 95%		F6, 21=4.7	F7, 34=5.7	F7, 34=1.2
P		<0.05	<0.05		0.008	0.001	0.314
<b>Invertebrados</b>							
<b>Herbívoros</b>							
<i>E. lucunter</i>	secas	4.2±0.3 <sup>a</sup>	34.2±7.8 <sup>ab</sup>	2.1	8.5±0.4 <sup>a</sup>	63±52 <sup>ab</sup>	6±5 <sup>a</sup>
<i>E. lucunter</i>	lluvias	-	-	2.1	12±1 <sup>b</sup>	102±38 <sup>b</sup>	25±14 <sup>c</sup>
<b>Planctívoros/detrítívoros</b>							
<i>P. carnea</i>	secas	13±2 <sup>b</sup>	17±9 <sup>a</sup>	-	-	27±7 <sup>a</sup>	0.7±0.6 <sup>a</sup>
<i>P. carnea</i>	lluvias	20±4 <sup>c</sup>	53±20 <sup>b</sup>	-	-	75±9 <sup>b</sup>	1.6±0.4 <sup>a</sup>
<i>Aplysina</i> sp.	secas	21±6 <sup>c</sup>	24±5 <sup>a</sup>	-	-	64±17 <sup>b</sup>	1.0±0.9 <sup>a</sup>
<i>Aplysina</i> sp.	lluvias	30±10 <sup>c</sup>	28±11 <sup>a</sup>	-	-	77±27 <sup>ab</sup>	0.4±0.1 <sup>a</sup>
<b>Planctívoros</b>							
Zooplancton (× m3)	secas	0.00012 <sup>d</sup>	0.2±0.1 <sup>c</sup>	2.0	-	36±18 <sup>a</sup>	9±6 <sup>bc</sup>
Zooplancton (× m3)	lluvias	0.00012 <sup>d</sup>	0.7±0.3 <sup>d</sup>	2.0	12±2 <sup>b</sup>	36±11 <sup>a</sup>	7±2 <sup>b</sup>
<i>M. cavernosa</i> (pieza)	secas	12.1±5.9 <sup>ab</sup>	17±9 <sup>a</sup>	-	-	49±9 <sup>a</sup>	6±3 <sup>b</sup>
<i>M. cavernosa</i> (pieza)	lluvias	5.3±2.3 <sup>a</sup>	49±19 <sup>b</sup>	-	-	36±18 <sup>ab</sup>	1.4±0.5 <sup>a</sup>
Estadístico		IC 95%	IC 95%		F <sup>2,28</sup> =21.9	F <sup>9,45</sup> =3.8	F <sup>9,45</sup> =4.0
P		<0.05	<0.05		0.001	0.002	0.001
P		<0.05	<0.05		<0.001	<0.001	0.001
C= Carbón, N = Nitrógeno, TAG = Triglicéridos, ST = Esteroles. Los valores son la media ± 95% de intervalo de confianza (IC). Los superíndices denotan diferencias significativas. Se realizaron comparaciones múltiples pareadas entre productores primarios, invertebrados y peces de manera independiente. F= Estadístico de Fisher, p= Valor de probabilidad de error de Tukey.							

**Tabla 2.** Longitud estándar, peso húmedo y calidad nutricional de los productores primarios y condición nutricional de los consumidores en el PNSAV. Nivel trófico de acuerdo a Carreón-Palau *et al.* (2013), tomado de Carreón-Palau *et al.* 2018.

Miembro de la red trófica	Temporada	Longitud estándar (cm)	Peso húmedo (g)	Nivel trófico	Relación molar de C: N	Lípido totales (mg g <sup>-1</sup> peso seco)	Relación TAG: ST
<b>Peces teleósteos</b>							
<b>Herbívoros/detritivóros</b>							
<i>A. chirurgus</i>	secas	21±2 <sup>a</sup>	262±64 <sup>a</sup>	2.4	3.6±0.1 <sup>ab</sup>	35±20 <sup>a</sup>	1.1±0.4 <sup>a</sup>
<i>A. chirurgus</i>	lluvias	23±1 <sup>a</sup>	292±42 <sup>a</sup>	2.4	3.8±0.1 <sup>ab</sup>	29±10 <sup>a</sup>	5±2 <sup>a</sup>
<b>Planctívoros</b>							
<i>C. personatus</i>	secas	3.0±0.1 <sup>b</sup>	0.21±0.02 <sup>b</sup>	2.7	3.8±0.1 <sup>b</sup>	57±21 <sup>a</sup>	0.5±0.3 <sup>a</sup>
<i>C. personatus</i>	lluvias	2.3±0.2 <sup>c</sup>	0.16±0.03 <sup>b</sup>	2.7	4.7±0.1 <sup>c</sup>	114±15 <sup>c</sup>	1.2±0.6 <sup>a</sup>
<b>Malaquívoros/Equinodermívoros</b>							
<i>B. rufus</i>	secas	21±3 <sup>a</sup>	211±62 <sup>a</sup>	3.7	3.2±0.8 <sup>a</sup>	58±5 <sup>a</sup>	1.1±0.4 <sup>a</sup>
<i>B. rufus</i>	lluvias	24±3 <sup>a</sup>	254±59 <sup>a</sup>	3.7	4.1±0.1 <sup>b</sup>	76±17 <sup>b</sup>	50±33 <sup>b</sup>
<b>Piscívoros</b>							
<i>O. chrysurus</i>	secas	19±2 <sup>a</sup>	91±24 <sup>c</sup>	3.7	3.7±0.1 <sup>ab</sup>	34±11 <sup>a</sup>	0.3±0.2 <sup>a</sup>
<i>O. chrysurus</i>	lluvias	35±3 <sup>d</sup>	375±82 <sup>a</sup>	3.7	4.0±0.1 <sup>b</sup>	74±14 <sup>b</sup>	27±20 <sup>b</sup>
Juveniles de <i>C. hippos</i>	secas	24±1 <sup>a</sup>	176±31 <sup>d</sup>	3.7	3.7±0.1 <sup>b</sup>	31±17 <sup>a</sup>	4±3 <sup>a</sup>
Juveniles de <i>C. hippos</i>	lluvias	22±1 <sup>a</sup>	140±6 <sup>d</sup>	3.7	5.2±0.4 <sup>c</sup>	181± 65 <sup>c</sup>	68±38 <sup>b</sup>
Estadístico		IC 95%	IC 95%		F <sup>9.95</sup> =21.7	F <sup>9.45</sup> =10.3	F <sup>9.45</sup> =5.0
P		<0.05	<0.05		<0.001	<0.001	0.001

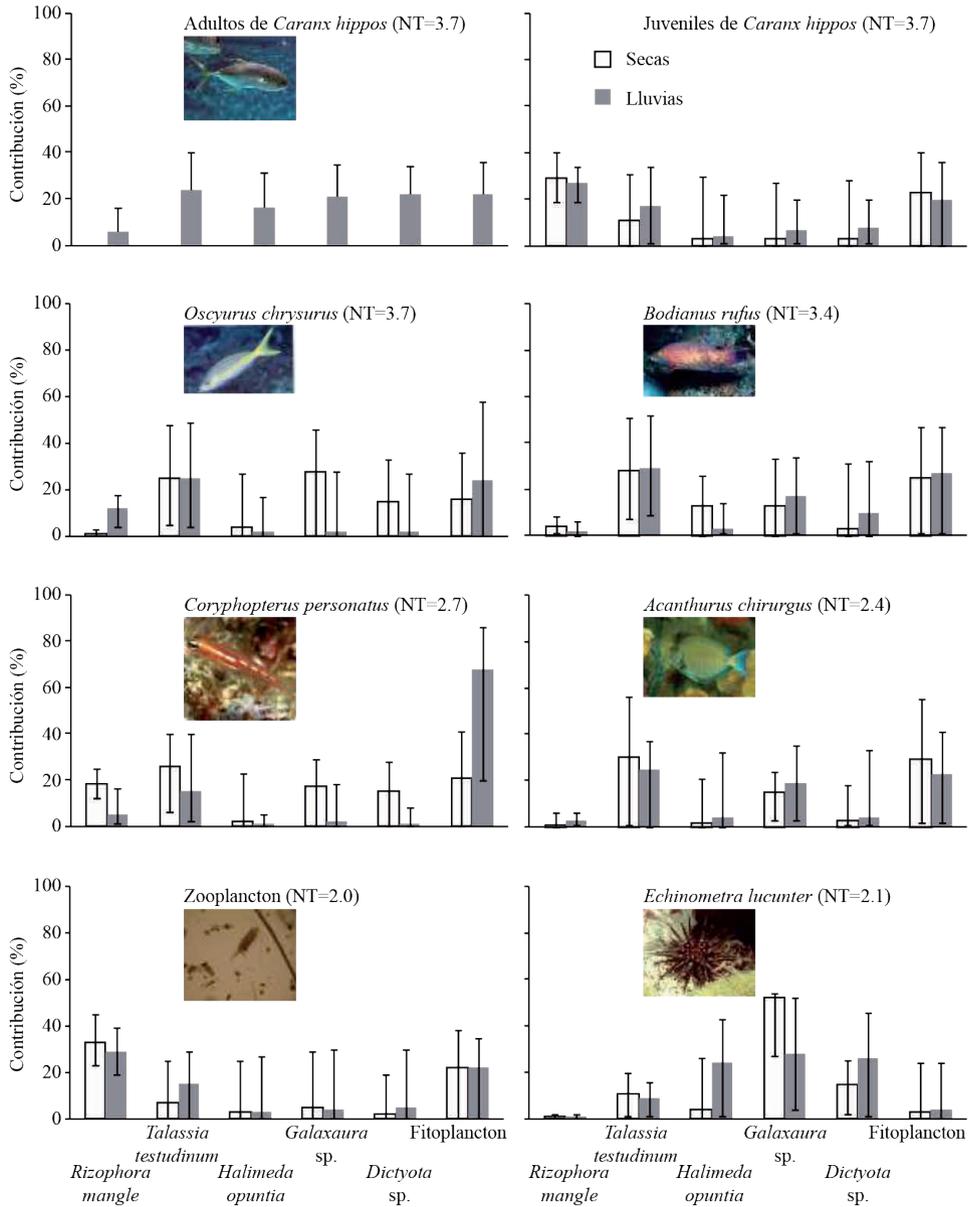
C= Carbón, N = Nitrógeno, TAG = Triglicéridos, ST = Esteroles. Los valores son la media ± 95% de intervalo de confianza (IC). Los superíndices denotan diferencias significativas. Se realizaron comparaciones múltiples pareadas entre productores primarios, invertebrados y peces de manera independiente. F= Estadístico de Fisher, p= Valor de probabilidad de error de Tukey.

### CONTRIBUCIÓN DE LAS FUENTES NATURALES DE C Y N A LA TRAMA TRÓFICA

El modelo de mezcla de isótopos estables de C y N (SIAR) permitió estimar la contribución de los productores primarios (fuente natural de carbono y nitrógeno) a los niveles tróficos superiores (figura 4). Este modelo permite reconocer los productores primarios a partir de los cuales se originan estos isótopos, independientemente de si estas fuentes fueron consumidas directa o indirectamente. De acuerdo con el modelo, en el caso

del zooplancton, cuyo nivel trófico (NT) fue igual a 2, las fuentes originarias de carbono y nitrógeno, tanto en temporada de secas como de lluvias, provienen principalmente del mangle y del fitoplancton (figura 4a).

Para el caso del erizo (*Echinometra lucunter*), con un NT=2.1, el alga roja (*Galaxaura* sp.) fue la principal fuente de ambos elementos y su contribución es aún más importante para la temporada de secas que para la temporada de lluvias, en donde tanto algas verdes como rojas y pardas parecen tener una contribución similar en la trama trófica



**Figura 4.** Variación temporal de la contribución directa de cada productor primario a los consumidores primarios e indirecta a los consumidores secundarios y terciarios en el PNSAV.

del erizo. En el caso del cirujano (*Acanthurus chirurgus*), un pez ramoneador considerado como herbívoro, nuestro trabajo muestra que tiene un nivel trófico ligeramente supe-

rior al de los herbívoros (NT= 2.4) y el modelo de mezcla de isótopos estables muestra que el fitoplancton y el pasto marino (*T. testudinum*) contribuyen notablemente en su

cadena trófica. Contrario a lo esperado, las macroalgas no son tan relevantes. De hecho el alga roja (*Galaxaura* sp.) es más importante que el alga parda (*Dictyota* sp.) lo que sugiere que ninguno de los dos herbívoros estudiados podrían funcionar como control biológico de las algas pardas.

El góbido enmascarado o gobio mapache (*Coryphopterus personatus*) tuvo un NT=2.7, es decir muy cercano al esperado para un consumidor secundario. En este pez, la contribución de los productores primarios a su dieta cambió de acuerdo a la temporada. En temporada de lluvias su principal fuente provino del fitoplancton, mientras que en temporada de secas, la contribución de éste a la cadena trófica del góbido disminuyó y aumentó la contribución relativa del mangle y del pasto marino. En el caso del pez perro o vieja española (*Bodianus rufus*), éste mostró un NT= 3.4, y los productores primarios que más contribuyeron a su red trófica fueron el pasto marino y el fitoplancton seguidos del alga roja (*Galaxaura* sp.). Para la rubia (*Ocyurus chrysurus*), con un NT= 3.7, los productores primarios que más contribuyeron a su cadena trófica fueron el pasto y el fitoplancton. En temporada de lluvias el mangle tuvo una contribución moderada. En temporada de secas, esta especie fue la única en la que el alga parda (*Dictyota* sp.) tuvo contribución relevante a su cadena trófica.

Los juveniles de la cojinuda (*Caranx hippos*), mostraron un nivel trófico semejante al de los adultos de esta misma especie (NT= 3.7). En los juveniles, el productor primario que más contribuyó a su cadena trófica durante ambas temporadas fue el mangle y en menor medida el fitoplancton y los pastos

marinos. En comparación, la contribución de los productores primarios a la cadena trófica de los adultos de ésta especie fue más homogénea y se distribuyó entre pasto, macroalgas y fitoplancton, aunque cabe aclarar que no fue posible analizar las fuentes durante la temporada de secas.

De acuerdo con lo anterior, las algas pardas, a pesar de su predominancia en el ambiente arrecifal, contribuyen muy poco a las cadenas tróficas analizadas, por lo que su control no puede limitarse a que sea consumida por otras especies y se requieren acciones más concretas.

## LÍPIDOS, ÁCIDOS GRASOS Y ESTEROLES

### Razón triglicéridos: esteroides (TAG:ST) como indicador de reservas energéticas

Los lípidos y sus unidades estructurales, los ácidos grasos (AG) sirvieron como indicadores de la calidad del carbono en dos temporadas contrastantes: secas y lluvias. De todos los productores primarios, solamente el fitoplancton pudo ser comparado en ambas temporadas en cuanto a la razón TAG:ST. En la temporada de secas el valor de dicho índice fue muy bajo ( $1.9 \pm 0.2$ ). Sin embargo, aunque en la temporada de lluvias se observaron valores muy altos, la extrema variación entre localidades impidió observar diferencias significativas entre temporadas (tabla 2).

En varios filtradores (planctívoros o detritívoros) se observó una tendencia hacia la reducción en la razón TAG:ST entre secas y lluvias; sin embargo, solo en el coral (*M. cavernosa*) esta disminución fue significativa, con una reducción de más de 4 veces el valor de secas ( $6 \pm 3$ ) comparado con el de

lluvias ( $1.4 \pm 0.5$ ). En contraste, el invertebrado herbívoro que se estudió en ambas temporadas fue el erizo (*E. lucunter*), donde hubo un incremento de  $\sim 4$  veces en la razón TAG:ST entre la temporada de secas ( $6 \pm 5$ ) y la temporada de lluvias ( $25 \pm 14$ ).

En el caso de los vertebrados, representados por los peces teleósteos (con espinas), varios de ellos mostraron incrementos en la razón TAG:ST. Por ejemplo, el herbívoro/detrívoro *A. chirurgus* mostró un incremento de más de 4 veces entre secas ( $1.1 \pm 0.4$ ) y lluvias ( $5 \pm 2$ ). Por su parte *B. rufus*, un consumidor de erizos y moluscos, a pesar de la gran variación observada en la temporada de lluvias, mostró un notable incremento entre la temporada de secas ( $1.1 \pm 0.4$ ) y la de lluvias ( $50 \pm 33$ ). Del mismo modo *O. chrysurus*, un piscívoro tuvo también un notable incremento entre secas ( $0.3 \pm 0.2$ ) y lluvias ( $27 \pm 20$ ). Finalmente, en los juveniles de *C. hippos*, de hábitos también piscívoros, el incremento entre secas ( $4 \pm 3$ ) y lluvias ( $68 \pm 38$ ) aunque un poco más modesto, aún fue notable.

De las otras especies en las que se pudo comparar la razón TAG:ST entre temporadas no se observaron cambios significativos. Lo anterior nos permite determinar que mientras una porción de los consumidores primarios y secundarios no tuvo modificaciones notables en la condición (dada por la razón TAG:ST), la mayoría de las especies estudiadas mostraron un incremento en su condición nutricional en la temporada de lluvias. A pesar de ello, los corales mostraron una disminución en su condición nutricional (tabla 2).

### Ácidos grasos como indicadores de la calidad del carbono provenientes de fuentes naturales

En las angiospermas tanto marinas como terrestres (pasto marino y mangle) es notable la ausencia de los ácidos grasos 20:4 $\omega$ 6, 20:5 $\omega$ 3 y 22:6 $\omega$ 3. Estos AG poliinsaturados de cadena larga (LC-PUFA, por sus siglas en inglés) son necesarios para asegurar la salud óptima de los miembros de la red trófica del PNSAV; sin embargo, se observa la presencia de sus precursores, 18:2 $\omega$ 6 y 18:3 $\omega$ 3. Comparada con la angiosperma marina (pasto), la angiosperma terrestre (mangle) mostró una mayor concentración de estos dos AG así como del 18:1 $\omega$ 9 (tabla 3).

En las macroalgas también se observa la presencia de los AG 18:2 $\omega$ 6 y 18:3 $\omega$ 3 los cuales fueron particularmente abundantes en el alga verde (*H. opuntia*). Además, las macroalgas mostraron distintas concentraciones de los LC-PUFA lo que permite emplearlos para discernirlos como fuente en niveles tróficos superiores. Así, el alga verde mostró altos niveles de 20:5 $\omega$ 3 y 22:6 $\omega$ 3 (EPA Y DHA). El alga roja (*Galaxaura* sp.) mostró niveles más bajos de los precursores 18:2 $\omega$ 6 y 18:3 $\omega$ 3, mientras que de los LC-PUFA sólo el 20:5 $\omega$ 3 (EPA) se registró en concentraciones relevantes. En el alga café (*Dictyota* sp.) los precursores registraron sus niveles más bajos, mientras que la concentración de 18:1 $\omega$ 9 fue notablemente mayor que en otras macroalgas y solo ligeramente inferior a la observada en el mangle. En esta misma macroalga, la concentración de EPA fue moderada, mientras que la del 20:4 $\omega$ 6 (ARA) registró sus valores más altos comparada con cualquier otro productor primario (tabla 3).

**Tabla 3.** Concentración (mg g<sup>-1</sup> de peso seco) de los ácidos grasos necesarios para asegurar la salud óptima de los miembros de la red trófica del PNSAV 20:4ω6, 20:5ω3 y 22:6ω3 y sus precursores 18:2ω6 y 18:3ω6. Los valores son la media ± 95 % de intervalo de confianza.

Miembro de la red trófica	Temporada	18:1ω9	18:1ω7	18:2ω6	18:3ω3	20:4 ω6	20:5 ω3	22:6ω3
<b>Productores primarios</b>								
<i>R. mangle</i> (hojas)	secas	3±2	0.2±0.1	5±3	9±3	–	–	–
<i>T. testudinum</i> (hojas)	secas	0.3±0.1	0.1±0.05	1.0±0.5	2±1	–	–	–
<i>H. opuntia</i> (completo)	secas	1±0.5	1±0.4	3±2	3±2	0.5±0.2	2±1	1.5±0.5
<i>Galaxaura</i> sp. (completo)	secas	0.1±0.05	0.1±0.05	1.0±0.4	0.5±0.2	0.1±0.05	0.5±0.3	0.02±0.01
<i>Dictyota</i> sp. (completo)	secas	2±1	0.1±0.02	0.3±0.2	0.3±0.2	2±0.7	0.9±0.4	–
Fitoplancton (× m <sup>3</sup> )	secas	2±1	0.3±0.2	0.4±0.2	0.2±0.1	0.2±0.1	1.0±0.4	2±1
Fitoplancton (× m <sup>3</sup> )	lluvias	0.7±0.5	0.3±0.2	0.4±0.1	0.1±0.05	0.3±0.1	1.5±0.5	1.3±0.8
<b>Invertebrados</b>								
<b>Herbívoros</b>								
<i>E. lucunter</i>	secas	2±1	2±1	0.6±0.5	0.4±0.3	7±5	7±6	0.5±0.4
<i>E. lucunter</i>	lluvias	3±2	3±1	2±1	2±1	11±5	6±3	0.5±0.3
<b>Plancívoros</b>								
Zooplancton (× m <sup>3</sup> )	secas	2±1	0.8±0.4	0.9±0.4	0.5±0.3	0.6±0.4	1.7±1.0	3±2
Zooplancton (× m <sup>3</sup> )	lluvias	1.1±0.5	0.42±0.2	0.9±0.6	0.2±0.1	0.5±0.2	2.4±0.8	2.1±0.8
<b>Peces teleósteos</b>								
<b>Herbívoros/detrítivoros</b>								
<i>A. chirurgus</i>	secas	2±1	0.8±0.4	0.5±0.3	0.2±0.1	4±2	3±2	5±3
<i>A. chirurgus</i>	lluvias	1.4±0.1	0.6±0.1	0.3±0.1	0.2±0.1	2±1	1.6±0.3	2.5±0.2
<b>Plancívoros</b>								
<i>C. personatus</i>	secas	4±1	2±1	0.7±0.5	0.6±0.5	2.1±0.8	2.3±0.6	9±1
<i>C. personatus</i>	lluvias	7±5	7±6	1.1±0.9	1.1±0.9	3±2	3±2	8±6
<b>Malaquívoros/Equinodermívoros</b>								
<i>B. rufus</i>	secas	3±1	0.8±0.3	0.4±0.1	0.1±0.04	3.4±0.6	1.6±0.4	4±2
<i>B. rufus</i>	lluvias	6±2	3±1	1.0±0.2	0.2±0.1	5±2	3.7±0.4	4±1
<b>Piscívoros</b>								
<i>O. chrysurus</i>	secas	2±1	0.5±0.2	0.3±0.2	0.07±0.04	2±1	1.3±0.6	10±4
<i>O. chrysurus</i>	lluvias	8±4	2±1	0.7±0.3	0.2±0.1	2±1	2±1	7±3
Juveniles de <i>C. hippos</i>	secas	2±1	1.2±0.8	0.3±0.2	0.04±0.03	2±1	0.8±0.6	5±3
Juveniles de <i>C. hippos</i>	lluvias	36±15	5±2	1.1±0.3	0.5±0.2	2±1	3±1	11±3
FRT (mín-máx)	secas	0.51–1.81	0.65–1.67	0.06–0.54	0.01–0.49	0.89–1.75	0.55–0.83	1.32–3.67
FRT	lluvias	1.42–3.97	0.92–4.15	0.35–0.92	0.25–0.91	0.89–1.87	0.42–0.85	1.01–2.97

FRT= Factor de retención trófica. Los valores de FRT < 1 indican que no hay retención, FRT = 1 indican que no hay cambios con respecto al productor primario y FRT > 1 indican retención conforme aumenta el nivel trófico.

En el fitoplancton, también se observa la presencia de LC-PUFA, aunque los niveles fueron en general de escasos (como en el ARA) a moderados (como en el EPA y el DHA); sin embargo, la presencia de DHA solo fue observada en el fitoplancton, en el alga verde (*H. opuntia*) y de manera marginal en el alga roja (*Galaxaura* sp.), por lo que la contribución de este ácido graso a las cadenas tróficas vía el fitoplancton es la más plausible. El fitoplancton fue el único productor primario que se colectó en las dos temporadas y se pudo comparar la concentración entre las temporadas de secas y lluvias sin que se observaran cambios significativos en estos AG (tabla 3).

Para el caso de los invertebrados herbívoros como el erizo (*E. lucunter*), se observa un incremento notable en la concentración del 18:3 $\omega$ 3 entre la temporada de secas y la temporada de lluvias. En el caso del zooplancton (presumiblemente planctívoro), así como de los peces herbívoros o detritívoros y los planctívoros, no se observaron diferencias en cuanto a las temporadas en los LC-PUFA ni en sus precursores (tabla 3).

En contraste, *B. rufus*, un pez consumidor de moluscos y equinodermos, mostró incrementos significativos en las concentraciones de 18:1 $\omega$ 7, 18:2  $\omega$ 6 y 20:5  $\omega$ 3 entre la temporada de secas y la de lluvias. En cuanto a los peces que se alimentan de otros peces, algunos como *O. chrysurus* incrementaron la concentración de 18:1 $\omega$ 7 y 18:1 $\omega$ 9, mientras que otros como los juveniles de *C. hippos* incrementaron la concentración del 18:1 $\omega$ 7, EPA y DHA (tabla 3).

En la parte inferior de la tabla 3 se muestra el rango del factor de retención trófica (FRT) de cada AG proveniente de los produc-

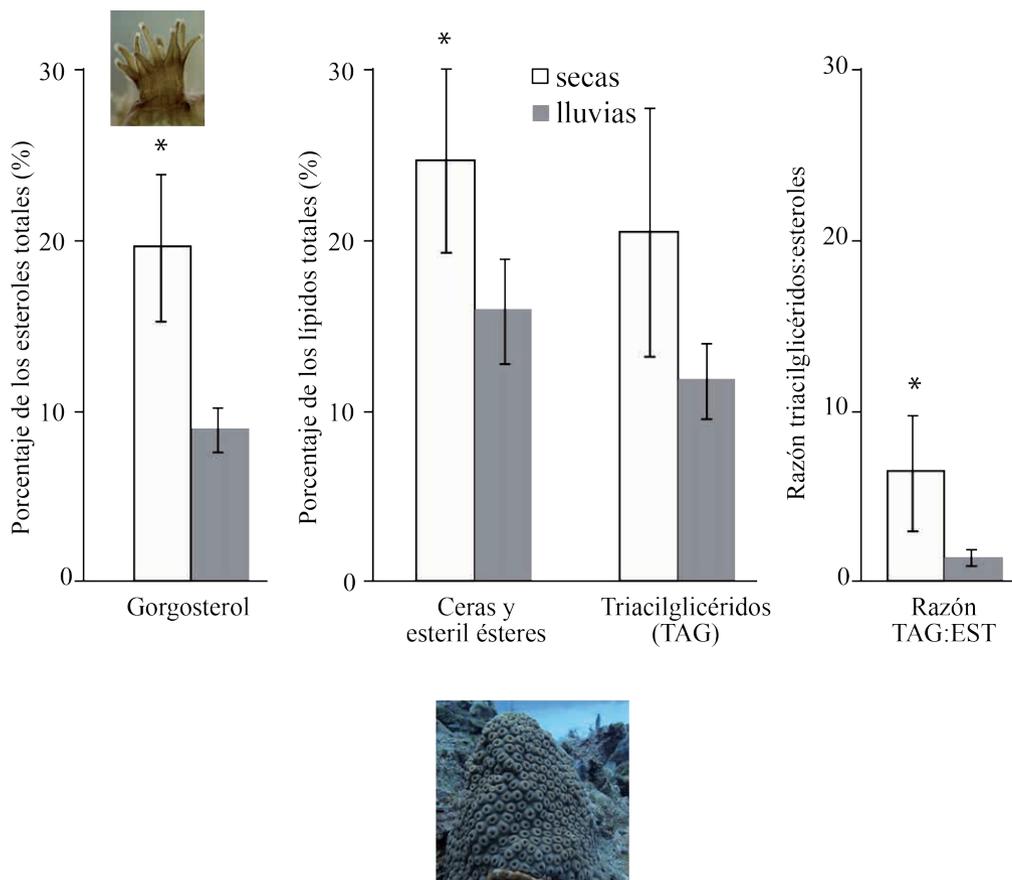
tores primarios estudiados. El ácido oleico, 18:1 $\omega$ 9, tuvo una retención trófica desde los pastos marinos y las algas rojas en ambas temporadas, y desde fitoplancton en la temporada de lluvias. El ácido *cis*-vaccénico 18:1 $\omega$ 7 mostró retención trófica a partir del pasto marino en ambas temporadas y a partir del mangle y el fitoplancton en la temporada de lluvias.

Los ácidos grasos 18:2 $\omega$ 6, 18:3  $\omega$ 3, y 20:5  $\omega$ 3 mostraron un decremento en su concentración con respecto la mayoría de los productores primarios conforme se incrementó el nivel trófico (FRT  $\leq$  1). En contraste, el ARA 20:4 $\omega$ 6 y el DHA 22:6  $\omega$ 3 mostraron una retención trófica (FRT  $>$  1). El ARA principalmente en la temporada de lluvias y el DHA en la temporada seca (tabla 3).

### **Esteroles como indicadores de condición nutricional y de contaminación antropogénica**

Para la comparación estacional del índice de condición fisiológica se empleó el contenido de ceras y esteril ésteres, la razón triglicéridos: esteroles (TAG:ST) y el porcentaje de gorgosterol en el coral *Montastrea cavernosa*. Este último compuesto es un esteroide presente en las microalgas conocidas como zooxantelas simbiotes del coral, y la disminución de su contribución durante la temporada de lluvias indica que hubo una menor densidad de zooxantelas. Como consecuencia, la reserva energética del coral disminuye, lo que se evidencia por un menor contenido de ceras y esteril ésteres y una disminución en la razón triglicéridos: esteroles (figura 5).

Por su parte, la concentración de coprostanol (ng L<sup>-1</sup>) en el PNSAV es un indicador de contaminación por aguas residuales. Los

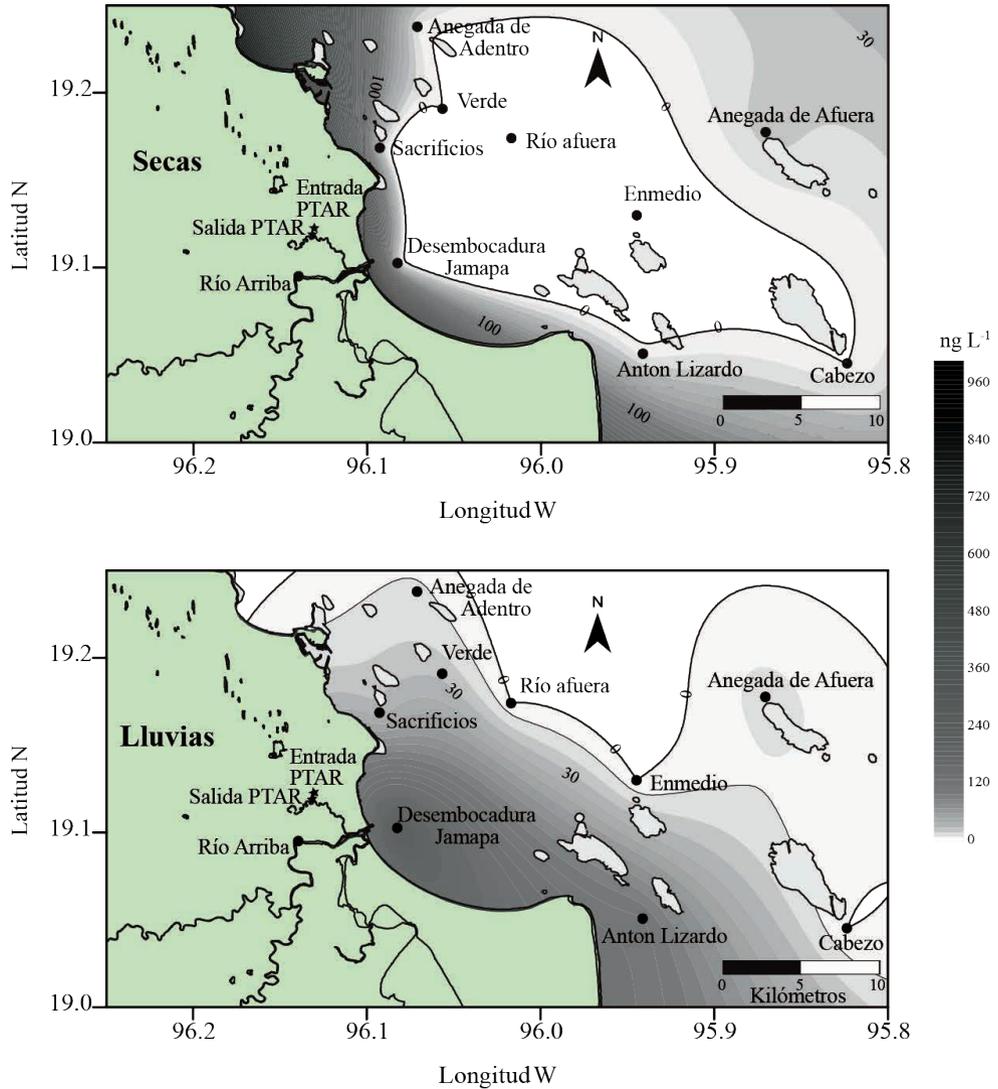


**Figura 5.** Comparación estacional del índice de condición fisiológica en el coral *Montastrea cavernosa*. El menor porcentaje de gorgosterol indica que las zooxantelas (microalgas simbiotes del coral) disminuyeron su contribución durante la temporada de lluvias. Como consecuencia, su reserva energética disminuye, lo que se evidencia por un menor contenido de ceras y esteril ésteres y una disminución en la razón triglicéridos: esteroides.

resultados muestran que en temporada de secas, al no haber aporte sustancial de las descargas fluviales, la mayoría de los sitios muestreados dentro del PNSAV tuvieron niveles de coprostanol por debajo del umbral de los 100 ng L<sup>-1</sup>, correspondientes al máximo nivel de coliformes considerado como aceptable en aguas marinas (1000 UFC en 100 mL<sup>-1</sup>) de acuerdo a Isobe *et al.* (2004). Sólo se observaron valores superiores a este umbral en la zona de entrada y salida de la

planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Es notable como durante la temporada de secas la mayoría de los arrecifes al este de Sacrificios mostraron valores de cero o cercanos a los 0 ng L<sup>-1</sup> de coprostanol (figura 6).

En temporada de lluvias, dado que hay una dilución por el aporte pluvial, el umbral de coliformes se alcanza a concentraciones de coprostanol de 30 ng L<sup>-1</sup> (Isobe *et al.*, 2004). En el PNSAV es evidente el efecto



**Figura 6.** Concentración de coprostanol ( $\text{ng L}^{-1}$ ) como indicador de contaminación por aguas residuales en el PNSAV. En temporada de secas, el límite de  $100 \text{ ng L}^{-1}$  corresponde al máximo nivel de coliformes considerado como aceptable en aguas marinas ( $1000 \text{ UFC en } 100 \text{ mL}^{-1}$ ). En temporada de lluvias, por efecto de la dilución, ese mismo nivel de coliformes se alcanza a concentraciones de coprostanol de  $30 \text{ ng L}^{-1}$ . Los círculos representan los sitios de muestreo y las estrellas representan la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Boca del Río. La línea negra representa el valor de  $0 \text{ ng L}^{-1}$  de coprostanol.

de los aportes fluviales, ya que se observaron valores por encima de los 30 ng L<sup>-1</sup> en los sitios de colecta más próximos a la costa y cercanos a los arrecifes Verde, Sacrificios y Enmedio. Por otro lado, en la desembocadura del río Jamapa y en la estación en-

frente a Antón Lizardo se observaron valores superiores a los 100 ng L<sup>-1</sup>. De hecho, en la temporada de lluvias, sólo los arrecifes de Enmedio y Cabezo mostraron valores de 0 ng L<sup>-1</sup> de coprostanol (figura 6).

## DISCUSIÓN

### ORIGEN Y DESTINO DEL NITRÓGENO

#### USANDO ISÓTOPOS ESTABLES

#### Y LA RELACIÓN CARBONO:NITRÓGENO

Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de las macroalgas del PNSAV coinciden con los valores observados cuando las macroalgas crecen con el aporte de fertilizantes inorgánicos, según lo reportado por Umezawa *et al.*, (2002). Debido a que los fertilizantes agrícolas se fabrican a partir del nitrógeno atmosférico, en este proceso presentan un fraccionamiento muy bajo, el valor isotópico del N de éstos se encuentra comprendido alrededor del valor del N del aire (entre +5‰ a -5‰). En contraste, el nitrógeno procedente de efluentes ganaderos, de fosas sépticas o redes de alcantarillado, tiene valores de  $\delta^{15}\text{N}$  isotópicamente más pesados, con valores comprendidos entre 10 y 20 ‰ debido a que proceden del amonio el cual sufre procesos de volatilización importantes (Vitoria *et al.*, 2004), o bien valores bajos si la fuente es la descarga reciente de aguas residuales no tratadas. Esto, debido a que las aguas residuales no tratadas tienen una mayor proporción de productos de la excreción de proteínas como el amonio que es isotópicamente más ligero, en ese caso el  $\delta^{15}\text{N}$  se reporta por debajo de -4.5‰ (Sato *et al.*, 2006).

Por otro lado, la relación C:N de las macroalgas del PNSAV coinciden con las reportadas en condiciones de enriquecimiento de nitrógeno en los cayos Exuma en las Bahamas (Lapointe *et al.*, 2004); de acuerdo con estos autores el enriquecimiento de N promueve una relación de C:N de  $18 \pm 3$ , mientras que la limitación de N disuelto promueve una relación de  $42 \pm 6$  en las macroalgas. En el PNSAV las algas verdes *H. opuntia* tuvieron el valor más alto de C:N con  $22 \pm 2$ , similar a las alga rojas *Galaxaura* sp. y significativamente mayor que el de las algas pardas *Dictyota* sp. con la relación más baja de C:N de  $17 \pm 1$ . Se confirmó que la biomasa de las macroalgas que crecen en el PNSAV responde al aporte de N de fuentes antropogénicas y particularmente de fertilizantes. El enriquecimiento con N de los productores primarios se explica porque en el estado de Veracruz solo se mantiene el 20% de la vegetación original; la mayor parte de su superficie se convirtió en plantaciones de cultivo y ranchos ganaderos. En Veracruz se utilizan los fertilizantes para el cultivo de pastura y se ha estimado 5 millones de cabezas de ganado, 1.2 millones de cerdos y 600 000 cabras (Tobon *et al.*, 2011).

En la evaluación del aporte de cada productor primario se observó que la principal fuente de C y N fue el fitoplancton que aumentó su contribución en la temporada de lluvias. Como resultado la mayor parte de los organismos tuvieron altas proporciones de triglicéridos y un aumento en la relación TAG:ST que indica un buen estado nutricional. La única excepción fue el coral *M. cavernosa* que tuvo un índice TAG:ST más alto en la temporada de secas que en la de lluvias. Lo anterior probablemente se deba a que en la temporada de lluvias la turbidez aumenta periódicamente debido a las plumas de los ríos Jamapa y Papaloapan, aunado al aumento de temperatura superficial del mar de 20 a 31 °C. La disminución de la densidad celular de las zooxantelas ha sido documentada en los arrecifes Japoneses cuando aumenta la temperatura y como resultado se detectó una disminución de 30 % a 15 % en los esteres de esteroides y ceras que son la principal reserva de energía de los corales, en este caso de *Goniastrea aspera* (Yamashiro *et al.*, 2005), coral que pertenece a la misma familia que *M. cavernosa* (Favidae). En *M. cavernosa* se observó una disminución de sus reservas (ésteres de esteroides y ceras), del 25 % en temporada de secas a 16 % en temporada de lluvias. Aunque las colonias colectadas no mostraban signos de blanqueamiento; el gorgosterol que es un esteroide característico de las zooxantelas si mostró una disminución significativa indicando que se perdieron las zooxantelas, a pesar de que no se detectó un evento de blanqueamiento; sin embargo, *M. cavernosa* tuvo una mayor proporción de TAG (21 %) que *G. aspera* (11 % en condiciones normales y 7 % en condición de blanqueamiento), y no

presentó cambios de la temporada de secas a lluvias, probablemente por el consumo de zooplancton que se ha reportado entre 10 y 20 % de su aporte de energía de acuerdo a Muscatine y Porter (1977). A pesar de que no disminuyó la proporción de TAG en la temporada de lluvias, cuando se analizó la proporción de reservas (TAG) con respecto a los lípidos estructurales (ST) se detectó que el zooplancton no fue suficiente para mantener la condición nutricional de *M. cavernosa* durante la temporada de lluvias ya que la relación TAG:ST disminuyó significativamente de  $6 \pm 3$  a  $1.4 \pm 0.5$ . La baja condición nutricional coincide con el número de colonias enfermas reportadas por Pérez-España *et al.* (2012) en un estudio realizado previamente con las mismas especies en el PNSAV. Las colonias enfermas aumentaron de 7 por 100 m<sup>2</sup> en temporada de secas a 30 por 100 m<sup>2</sup> en la temporada de lluvias.

En condiciones normales los arrecifes coralinos tienen baja disponibilidad de nitrógeno pero conforme aumenta la cantidad de nutrientes por la descarga de los ríos, las macroalgas compiten por el espacio con los corales adultos. Algunas especies como la cianobacteria *Lyngbya confervoides* y la macroalga parda *Dictyota menstrualis* inhiben el crecimiento de los reclutas (Kuffner *et al.*, 2006). De acuerdo con los resultados del SIAR la macroalga parda *Dictyota* sp. es consumida preferentemente por el erizo *Echinometra lucunter*, mientras que los peces herbívoros como el pez cirujano *Acanthurus chirurgus* prefieren a la macroalga roja *Galaxaura* sp. La abundancia de los erizos *E. viridis* y *E. lucunter* representan en conjunto el 80 % de la abundancia total de los organismos bentónicos sobre todo en la zona some-

ra de los arrecifes del PNSAV (Pérez-España *et al.*, 2015). Aparentemente, los erizos pueden controlar la abundancia de macroalgas pardas; sin embargo, también pueden erosionar el coral mientras se alimentan. Dado que el  $\delta^{15}N$  de las macroalgas indica que el N viene de fertilizantes y que la macroalga parda *Dictyota* sp. no es consumida por los peces herbívoros; el manejo sustentable de las prácticas agrícolas y el tratamiento terciario de las aguas residuales son las mejores opciones para disminuir el aporte de N. Se ha probado que los cultivos de maíz pueden ser sumideros de C y hacer un uso eficiente del agua y el N cuando se manejan de manera sustentable, por ejemplo en Abeokuta en el sudoeste de Nigeria probaron que sin labranza y agregando 20 Mg ha<sup>-1</sup> de abono de aves de corral el suelo disminuye su emisión de C y N (Busari *et al.*, 2016).

#### ORIGEN Y DESTINO DEL CARBONO ORGÁNICO USANDO ÁCIDOS GRASOS Y ESTEROLES

Los primeros estudios de nutrición acuícola sugirieron que el ácido linoleico (ALA ó 18:2 $\omega$ 6) y el ácido linolénico (LIN ó 18:3 $\omega$ 3) pueden satisfacer los requerimientos de AG esenciales en los peces de agua dulce, mientras que los LC-PUFA  $\omega$ 3 como el ácido eicosapentaenóico (EPA ó 20:5 $\omega$ 3) y el ácido docosahexaenóico (DHA ó 22:6 $\omega$ 3) deben ser suministrados para satisfacer los requerimientos de los peces marinos (Sargent *et al.*, 2002).

El suministro de 20:5 $\omega$ 3 y 22:6 $\omega$ 3 para los juveniles de peces carángidos *C. hippos*, como lo muestran los isotopos estables vienen de fitoplancton, mientras que la señal de carbono del manglar viene del 18:1 $\omega$ 7, el

único AG que mostró un factor de retención trófica FRT>1 del manglar (tabla 3). Al comparar los listados de peces de Bedia-Sánchez & Franco-López (2008) y Martínez-Gómez (1996) en las lagunas que desembocan al PNSAV, con el listado de Del Moral-Flores *et al.* (2013), se puede constatar que al menos 45 especies de peces presentes en el PNSAV crecen en las lagunas donde el manglar es la principal planta vascular, incluyendo *Megalops atlanticus* que se aprovecha para la pesca deportiva y varias especies de pargos de importancia comercial (por ejemplo, *Lutjanus synagris* y *L. analis*). Es importante que el plan de manejo del PNSAV haga un énfasis en la protección del manglar evitando el crecimiento urbano y gestionando el tratamiento de las aguas residuales para evitar la pérdida de cobertura. La pérdida de cobertura del manglar ha tenido consecuencias, por ejemplo, el herbívoro más grande del atlántico *Scarus guacamaia*, que depende del reclutamiento en las lagunas con manglar, ha sufrido una extinción local después de la remoción del manglar en algunos arrecifes del Caribe (Mumby *et al.*, 2004).

El aumento de los AG provenientes del fitoplancton, particularmente del 22:6 $\omega$ 3 en los niveles tróficos superiores, probablemente se deben al aumento de biomasa del fitoplancton en la temporada de secas ( $39 \pm 14$  mg m<sup>-3</sup> peso seco) comparado con la temporada de lluvias ( $14 \pm 5$  mg m<sup>-3</sup> peso seco). El hecho de que los lípidos totales aumentaran en los niveles tróficos superiores en lluvias (tabla 2) probablemente se deba al aumento de biomasa del zooplancton que se registró al final de la temporada (Okolodkov *et al.*, 2011). Probablemente la biomasa del fitoplancton fue consumida por los invertebrados adultos

durante secas, quienes presentaron un pico de reproducción en lluvias. Eso podría explicar porque el zooplancton estuvo compuesto principalmente por estadios larvarios de bivalvos, quetognatos, apendicularios, poliquetos, gastrópodos, decápodos, equinodermos, hidrozoarios, cladóceros y copépodos calanoideos según (Okolodkov *et al.*, 2011) quienes identificaron las mismas muestras que se analizaron en este estudio como parte del mismo proyecto. El aumento de la biomasa del zooplancton durante la temporada de lluvias podría explicar el aumento de C proveniente de fitoplancton detectado por el SIAR en el góbido *C. personatus* (68 %). Se sabe que los peces que consumen plancton canalizan nutrientes y energía de la zona pelágica a la zona del arrecife, importando materia orgánica particulada al arrecife cuando excretan sus residuos mientras se refugian (Rothans & Miller 1991). Dicho transporte puede explicar las altas proporciones de 20:5ω3 y 22:6ω3 transferido tróficamente desde el fitoplancton al pez cirujano *A. chirurgus* así como la alta proporción de C y N detectada por el SIAR de 23 % y 29 % de fitoplancton en las temporadas de secas y lluvias, respectivamente.

#### **COPROSTANOL COMO INDICADOR DE C PROVENIENTE DE AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS**

La concentración de coprostanol fue utilizada como indicador de la contaminación por heces fecales debido a que es una molécula resistente a la temperatura, la salinidad y la radiación solar. En comparación con la medición de bacterias coliformes fecales que puede subestimar el aporte de aguas residuales no tratadas (Devane *et al.*, 2006).

Las concentraciones de coprostanol entre 30 y 100 ng L<sup>-1</sup>, que corresponden a 1000 unidades formadoras de colonias (UFC) de *Escherichia coli* por 100 ml en temporada de lluvias y secas, respectivamente (Isobe *et al.*, 2004), son consistentes con los límites máximos permisibles para aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público en contacto indirecto u ocasional según la NOM-003-SEMARNAT-1997 (NOM-003-ECOL-1997 según el DOF, 1998). La descarga de aguas residuales hacia el río Jamapa fue de 34 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> (Sistema de Agua y Saneamiento Metropolitano de Veracruz, 2006). Mientras que la planta de tratamiento reportó un tratamiento de 4.8 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> que es equivalente al 14 % del agua residual (INEGI, Anuario Estadístico de Veracruz de Ignacio de la Llave, 2010). Este tratamiento deficiente fue detectado en las muestras colectadas antes y después de la planta de tratamiento. Los esteroides totales mostraron una eficiencia de remoción del 60 %; sin embargo, la concentración de coprostanol se mantuvo prácticamente igual de 3 571 ng L<sup>-1</sup> antes y 3 671 ng L<sup>-1</sup> después de la planta de tratamiento. Esta concentración no se detectó en la boca del río Jamapa, lo anterior se puede explicar por la sedimentación del coprostanol dada su naturaleza hidrofóbica y la posible remineralización de la materia orgánica en la zona de manglar Arroyo Moreno con la consecuente emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, esta remineralización ya se ha reportado en los manglares asociados arrecifes coralinos en una revisión que realizó Borges *et al.* (2005).

La parte alta del río Jamapa también mostró una concentración de 1823 ng L<sup>-1</sup>, 18 veces mayor al límite propuesto para la tem-

porada de secas de 100 ng L<sup>-1</sup>; en contraste, la temporada de lluvias presentó niveles de 9 ng L<sup>-1</sup> menores al límite para lluvias que es de 30 ng L<sup>-1</sup>, indicando un efecto de dilución por las lluvias como el que se reportó en Tokio después del paso de un huracán (Isobe *et al.*, 2004); sin embargo, la boca del río, Sacrificios y frente a Antón Lizardo si tuvieron niveles mayores al límite. La presencia de coprostanol frente a Antón Lizardo indica una descarga de aguas residua-

les sin tratar, mientras que la presencia de coprostanol en Sacrificios y la boca del río Jamapa en la temporada de lluvias se pueden explicar porque la corriente circula de sur a norte en el verano. Es posible que la contaminación venga de Antón Lizardo y el río Papaloapan en la temporada de lluvias y del río Jamapa y Boca del Río en la temporada de secas. Aunado a esto se sabe que existen al menos 35 descargas de drenaje directo al mar (Vázquez-Guerra, 2018).

## CONCLUSIONES

Se sugiere incluir indicadores del grado de contaminación por fertilizantes y aguas residuales al programa de monitoreo del área protegida pnsav. El manejo sustentable del suelo que se usa para el cultivo de alimento humano y pastura en las cuencas de los ríos Jamapa y Papaloapan debe incluirse en la agenda ambiental del estado de Veracruz. Así como la construcción de una planta de tratamiento en la población de Antón Lizardo y sancionar las descargas directas al mar. El  $\delta^{15}\text{N}$  y la relación C:N pueden utilizarse

como indicadores de la fuente de nitrógeno y de su concentración (limitada vs enriquecida) para las macroalgas. Mientras que la concentración de coprostanol en la materia orgánica particulada es un buen indicador de contaminación por heces fecales. Estos indicadores permitirán evaluar la eficiencia del tratamiento de la planta de tratamiento instalada en Boca del Río, de las que operan en el puerto de Veracruz y la que se instale en Antón Lizardo.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al proyecto denominado Fuentes orgánicas de carbono y nitrógeno y su función sobre la estructura trófica en el Sistema Arrecifal Veracruzano Fomix-Veracruz clave 37567 para la colecta de muestras. El trabajo analítico fue apoyado por la beca de C.C.P. del Natural Sciences and

Engineering Research Council of Canada (NSERC). L.C.P. recibió beca de doctorado del CONACYT (117304) y de la Escuela de Posgraduados de la Memorial University of Newfoundland. Gracias a todos los estudiantes de servicio social del Instituto Tecnológico de Boca del Río, Veracruz que nos

apoyaron de 2007 a 2009. Se reconoce el apoyo del Proyecto 20196704 - 20180551 del Multidisciplinario 1906 del IPN por los

colaboradores Aguñiga-García y Carreón-Palau en la realización de este capítulo

## LITERATURA CITADA

- Bedia-Sanchez, S. C. & J. Franco-López. 2008. Peces de los sistemas costeros del Estado de Veracruz. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 508 pp.
- Beer, S., M. Bjork, F. Hellblom & L. Axelsson. 2002. Inorganic carbon utilization in marine angiosperm (seagrasses). *Func. Plant. Biol.* 29: 349-354.
- Bethell, P. H., L. J. Goad, R. P. Evershed & J. Ottaway. 1994. The study of molecular markers of human activity: the use of coprostanol in the soil as an indicator of human faecal material. *J. Archaeol. Sci.* 21: 619-632
- Birkeland C. 2015. Coral reefs in the anthropocene. In: Birkeland C. (ed), *Coral reefs in the anthropocene*. Springer, Nueva York, 1-16.
- Borges A.V., B. Delille, & M. Frankignoulle. 2005. Budgeting sinks and sources of CO<sub>2</sub> in the coastal ocean: diversity of ecosystems counts. *Geophys. Res. Lett.* 32 <http://dx.doi.org/10.1029/2005GL023053>. L14601.
- Bujagic, I.M., S. Gruji, Z. Jaukovi, & M. Lausevic, 2016. Sterol ratios as a tool for sewage pollution assessment of river sediments in Serbia. *Environmental Pollution*, 213:76-83. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.12.036>.
- Bull, I.D., M.J. Lockheart, M. M. Elhmmali, D.J. Roberts & R. P.Evershed. 2002. The origin of faeces by means of biomarker detection. *Environ. Int.* 27, 647-654.
- Burke L., K. Reytar, M. Spalding & A. Perry, 2011. Reef at risk revisited. World Resources Institute, Washington D.C. 114 pp.
- Busari M.A., F.K. Salako & C. Tuniz, 2016. Stable isotope technique in the evaluation of tillage and fertilizer effects on soil carbon and nitrogen sequestration and water use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 73: 98-106.
- CNA, 2011. Atlas del Agua en México 2011. Comisión Nacional del Agua, Gobierno Federal, México, D.F, p. 133.
- Carreón-Palau, L., 2015. Organic carbon sources and their transfer in a Gulf of Mexico coral reef ecosystem. Doctoral (PhD) thesis Memorial University of Newfoundland, Canada. <http://research.library.mun.ca/12062/>.
- Carreón-Palau, L., C.C. Parrish & H. Pérez-España, 2017. Urban sewage lipids in the suspended particulate matter of a coral reef under river influence in the South West Gulf of Mexico. *Water Research*, 123:192-205. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.061>.
- Carreón-Palau, L., C.C. Parrish, H. Pérez-España & S. Aguñiga-García, 2018. Elemental ratios and lipid classes in a coral reef food web under river influence. *Prog. in Oceano.*, 164:1-11.
- Carreón-Palau, L., C.C. Parrish, J.A. del Ángel-Rodríguez, H. Pérez-España & S. Aguñiga-García, 2013. Revealing organic carbon sources fueling a coral reef food web in the Gulf of Mexico using stable isotopes and fatty acids. *Limnology & Oceanography*, 58(2):593-612.
- Cohen, Z., H. A. Norman & Y. M. Heimer, 1995. Microalgae as a source of  $\omega$ 3 fatty acids. En: *Plants in human nutrition*. A. P. Simopoulos (ed). *World Review Nutrition Diet Basel, Karger*. 77:1-31
- DeNiro, M.J. & S. Epstein, 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 45:341-351. doi:10.1016/0016-7037(81)90244-1.

- Del Moral Flores, L.F., J.L. Tello-Mussi, H. Reyes-Bonilla, H. Pérez-España, J.A. Martínez-Pérez, G. Horta-Puga, L.A. Velasco-Mendoza & P.A. Alvarez Del Castillo-Cárdenas, 2013. Sistemática y afinidades zoogeográficas de la ictiofauna del Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84:825-846.
- Demetz, E., A. Schroll, K. Auer, C. Heim, J. R.Patsch, P. Eller & I. Tancevski, 2014. The arachidonic acid metabolome serves as a conserved regulator of cholesterol metabolism. *Cell Metabolism*, 20(5): 787-798. doi: 10.1016/j.cmet.2014.09.004
- Devane, M., D. Saunders & B. Gilpin, 2006. Faecal sterols and fluorescent whiteners as indicators of the source of faecal contamination. *Chemistry N.Z.* 74:77.
- Diario Oficial de la Federación, 2012. Diario Oficial Mexico. Tercera Sección, pp. 1-14. Jueves 29 de Noviembre de 2012.
- Diario Oficial de la Federación, 21/septiembre/1998. <https://www.sinec.gob.mx/SI-NEC/Vista/Normalizacion/DetalleNorma.xhtml?pidn=dTJZeUMzQVNFOWloVkp2eVYzbFl3dz09>.
- Fabricius, K.E., 2011. Factors determining the resilience of coral reefs to eutrophication: a review and conceptual model. Pp. 493-505. En: Z. Dubinsky & N. Stambler (eds.), *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*. Springer Science. doi: 10.1007/978-94-007-0114-4.
- Hobson, K.A., W.G. Ambrose & P.E. Renaud, 1995. Sources of primary production, benthic-pelagic coupling, and trophic relationships within the northeast water Polynya: Insights from  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 128:1-10, doi:10.3354/meps128001
- Horta-Puga, G., J. L. Tello-Musi, A. Beltrán-Torres, J. P. Carricart-Ganivet, J. D. Carriquiry & J. Villaescusa-Celaya, 2015. Veracruz Reef System: a hermatypic coral community thriving in a sedimentary terrigenous environment, p. 181-208. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D.Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 p.
- INEGI, 2010. Anuario Estadístico de Veracruz de Ignacio de la Llave. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- ISRS, 2004. The Effects of Terrestrial Runoff of Sediments, Nutrients and Other Pollutants on Coral Reefs. Briefing Paper 3. International Society for Reef Studies, p. 18
- Isobe, K.O., M. Tarao, N.H. Chiem, L.Y. Minh & H. Takada, 2004. Effect of environmental factors on the relationship between concentrations of coprostanol and fecal indicator bacteria in tropical (Mekong Delta) and temperate (Tokyo) freshwaters. *Application Environmental Microbiology*, 70:814e821.
- Jackson J., M. Donovan, K. Cramer & V. Lam, 2014. Status and trends of Caribbean coral reefs: 1970:2012. Global Reef Monitoring Network – IUCN, Suiza. 304 pp.
- Kuffner, I.B., L.J. Walters, M.A. Becerro, V.J. Paul, R. Ritson-Williams & K. Beach, 2006. Inhibition of coral recruitment by macroalgae and cyanobacteria. *Marine Ecology Progress Series*, 323:107-117.
- Lapointe, B. E., P. J. Barile & W. R. Matzie. 2004. Anthropogenic nutrient enrichment of seagrass and coral reef communities in the Lower Florida Keys: Discrimination of local versus regional nitrogen sources. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 308: 23–58.
- Martínez, Gómez. J. E. 1996. Arroyo Moreno: Su flora y su fauna. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave. Xalapa Veracruz. México 138 p.
- Matthews, B. & A. Mazumder, 2005. Temporal variation in body composition (C:N) helps explain seasonal patterns of zooplankton  $\delta^{13}\text{C}$ . *Freshwater Biology*, 50:502-515. doi:10.1111/j.1365-2427.2005.01336.x

- McCutchan, J.H., W.M. Lewis, C. Kendall & C.C. McGrath, 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulphur. *Oikos*, 102:378e390, doi:10.1034/j.1600-0706.2003.12098.x
- Michener, R.H. & D.M. Shell, 1994. Stable isotopes ratios as tracers in marine aquatic food webs, Pp. 138-157. En: K. Lajtha & R. H. Michener (eds.), *Stable isotopes in ecology and environments studies*. Blackwell.
- Miller M.W., 2015. Coral disturbance and recovery in a changing World. En: Birkeland C. (ed), *Coral reefs in the anthropocene*. Springer, Nueva York, 217-230.
- Mumby, R.J., A.J. Edwards, J.E. Arias-González, K.C. Lindeman, P. G. Blackwell, A. Gall, M. I. Gorchynska, A.R. Harborne, C.L. Pescod, H. Renken, C.C. Wabnitz y G. Llewellyn. 2004. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, 427: 533–536, doi:10.1038/nature02286
- Muscatine, L., Porter, J.W., 1977. Reef corals: mutualistic symbioses adapted to nutrient-poor environments. *BioScience*, 27: 454–460.
- Okolodkov, Y., G. Campos-Bautista, I. Gárate-Lizárraga, J.A. González-González, M. Hoppenrath, & V. Arenas. 2007. Seasonal changes of benthic and epiphytic dinoflagellates in the Veracruz reef zone, Gulf of México. *Aquatic Microbiology & Ecology*, 47:223-237, doi:10.3354/ame047223
- Okolodkov, Y., J.A. Aké-Castillo, M.G. Gutiérrez-Quevedo, H. Pérez-España & D. Salas-Monreal, 2011. Annual cycle of the plankton biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, southwestern Gulf of Mexico, PP. 1-26. En: G. Kattel [ed.], *Zooplankton and phytoplankton*. Nova Science.
- Parnell, A.C., R. Inger, S. Bearhop & A.L. Jackson, 2010. Source partitioning using stable isotopes: Coping with too much variation. *Plos One*, 5: 9672, doi:10.1371/journal.pone.0009672
- Parrish, C.C., 1987. Separation of aquatic lipid classes by chromarod thin layer chromatography with measurements by iatroskan flame ionization detection. *Canadian Journal of Fishery & Aquatic Science*, 44: 722-731. doi:10.1139/f87-087
- Parrish, C.C., 1999. Determination of total lipid, lipid classes and fatty acids in aquatic samples, Pp. 4–20. En: M.T. Arts & B.C. Wainman [eds.], *Lipids in freshwater ecosystems*. Springer.
- Pastorok, R.A. & G.R. Bilyard, 1985. Effects of sewage pollution on coral-reef communities. *Marine Ecology Progress Series*, 21:175-189.
- Pérez-España H., J. Santander-Monsalvo., J. Bello-Pineda, R.S. Gómez-Villada, J.A. Ake-Castillo, M.A. Lozano-Aburto, M.A. Román-Vives & M. Marín-Hernández. 2012. Caracterización ecológica del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Sánchez A.J., X. Chiappa-Carrara & R. Brito-Pérez (eds). *Recursos acuáticos costeros del sureste*. Vol. II. Re-corecos, Sisal, Yucatán. 581-601 pp.
- Pérez-España, H., S. Ávila-Gutiérrez, S.M. Melo-Merino, P. Berumen-Solórzano & R.R. Flores-Arévalo. 2015. Patrones interanuales e interarrecifales de las comunidades de peces, corales y equinodermos en el Sistema Arrecifal Veracruzano, P. 159-178. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: Hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 p.
- Rothans, T. C. & A.C. Miller. 1991. A link between biologically imported particulate organic nutrients and the detritus food web in reef communities. *Mar. Biol.*, 110: 145-150.
- Rothans, T.C. & A.C. Miller, 1991. A link between biologically imported particulate organic nutrients and the detritus food web in reef communities. *Marine Biology*, 110:145-150, doi:10.1007/BF01313101





**Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal  
del Suroeste del Golfo de México**

Se realizó en el Departamento de Difusión y Publicaciones  
del Instituto EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche  
Composición, diseño y proceso editorial a cargo de Jorge Gutiérrez  
Diseño de la cubierta Juan M. Matú



**ISBN 978-607-8444-54-0**

**doi 10.26359/epomex.0319**