



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD DE
CRUSTÁCEOS ASOCIADOS A PASTOS MARINOS DE
LA LAGUNA DE SONTECOMAPAN, VERACRUZ,
MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

ARELI MORÁN FAUSTINOS



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. FERNANDO ÁLVAREZ NOGUERA
CIUDAD DE MÉXICO, 2021**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



AGRADECIMIENTOS

A la UNAM por permitirme cumplir mis sueños dentro de sus instalaciones y ser mi segunda casa en donde he crecido en todos los sentidos y conocido personas increíbles.

Al IBUNAM y a la estación de biología tropical de los Tuxtlas por recibirme para desarrollar esta investigación.

Al Dr. Fernando Álvarez, gracias Fer por ser un gran maestro y asesor, gracias por toda tu enseñanza, las anécdotas, las mejores salidas a campo y por el espacio que me abriste en tu ocupada vida.

Al Dr. José Luis Villalobos, gracias Pepe por todo el tiempo dedicado a la identificación de los bichos, por guiarme, por los consejos, sugerencias y por siempre estar al pendiente de este trabajo.

A Gemma, la principal guía de este trabajo y quien desde el principio me apoyo incondicionalmente. Gracias por creer tanto en mí, por los momentos de risas, chismes, fiestas y comidas, pero más por los regaños y los momentos de trabajo duro, gracias por guiarme y por presionarme a siempre dar lo mejor de mí. Eres una increíble profesora y amiga a la vez, te quiero.

A el maestro José Luis Bortolini, por su gran disposición en ayudarme a pulir este trabajo, por todas sus sugerencias y por siempre estar al pendiente de los avances.

Al Doctor Winfield, por todos sus comentarios para enriquecer este trabajo y por compartir toda su experiencia y conocimiento con los crustáceos y los pastos marinos para lograr los resultados esperados de esta investigación.

A la Doctora Margarita Hermoso, por ser una excelente maestra de crustáceos y por aceptar contribuir a este trabajo. Gracias por las observaciones y por la paciencia, pero sobre todo gracias por ser una inspiración como investigadora.

A todos mis profesores de la carrera, quienes han contribuido para forjar mi conocimiento y mis intereses en la biología.



A mis padres, quienes han dado todo de sí para impulsarme a lograr mis metas y ser la persona que soy. Gracias por siempre apoyarme incondicionalmente, por siempre hacerme sentir muy amada e importante y sobre todo por enseñarme el valor de la disciplina y la dedicación que es lo que me ha llevado hasta este momento. Mamá, eres la persona más fuerte y auténtica que conozco, me inspiras todos los días, gracias por siempre creer que soy la mejor en todo, nunca nadie creerá tanto en mí como tú lo haces. Papá, gracias por todo lo que has trabajado por mí y por la familia, siempre has luchado por darme lo mejor y para no me perdiera de ninguna oportunidad, sin ti no hubiera podido vivir ni la mitad de mis mejores viajes y experiencias, te admiro muchísimo y prometo hacer valer todo tu esfuerzo. Pasare mi vida dedicándoles a ambos mis logros, son el amor de mi vida.

A mi hermano Alan, gracias flaco por ser más que un buen hermano, un amigo incondicional. Gracias por ser mi compañero de tonterías y juegos; eres la persona más divertida, leal, comprensiva que tengo y gracias porque en los últimos años, además te has convertido en un proveedor más de mis necesidades y caprichos, te amo infinitamente.

A mis tíos, mis primos y abuelitos, gracias por ser la familia más increíble y divertida, gracias por el apoyo de todos y por siempre hacerme sentir orgullosa de quien soy. A mi abuelita Irma, a quien le debo los mejores momentos de mi infancia y quien, aunque ya no se encuentre físicamente conmigo, continúa impulsándome a salir adelante, sé que estarías muy orgullosa de mí.

A mis amigos, Miros, Nubia y Jair, con quienes viví los mejores momentos en el CCH y a mis amigos de lo que parece ser toda la vida: Ale, Xadani y Ángel, todos ustedes siempre han hecho parecer que la vida es menos abrumadora, gracias. A mis amigos Josy, Alfredo y Vicho, gracias por estar conmigo toda la carrera, por siempre estar en las fiestas, pero también en los momentos difíciles, sin ustedes la experiencia definitivamente no hubiera sido la misma, los amo. A mis amigos del taller, Liz, Rod, Rubén y Karen, quienes se han convertido en mis pilares emocionales, gracias por todas las risas, viajes y trabajo en el laboratorio, me hacen la existencia más fácil. A mis compañeros de la colección de crustáceos, gracias por ayudarme en los muestreos lodosos en los pastos marinos y por siempre estar dispuestos a enseñar, y particularmente a Chavita, gracias por esas divertidas tardes de identificación de camarones, gracias por tus consejos, tu amistad y por siempre estar dispuesto a escucharme, pero sobre todo gracias por contagiarme el amor y gusto a la taxonomía.

A Jorge, gracias por ser todo lo que necesito, por estar siempre para mí, por motivarme, inspirarme y apoyarme en todas mis metas. Nunca me cansaré de agradecerte toda la paz y amor que le das a mi vida. Eres mi lugar seguro entre todo el caos del mundo, eu te amo meu amor.



ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
¿Qué son los pastos marinos?.....	3
Morfología y reproducción	3
Hábitat.....	4
Importancia de los pastos marinos	6
Crustáceos	9
Interacciones entre los pastos marinos y los crustáceos	11
JUSTIFICACIÓN	13
ANTECEDENTES	14
HIPÓTESIS	17
OBJETIVOS.....	18
Objetivo General	18
Objetivos Particulares.....	18
ÁREA DE ESTUDIO	19
MATERIAL Y MÉTODO.....	21
Trabajo de campo	21
Procesamiento de las muestras.....	22
Análisis en laboratorio	22
Análisis estadístico	22
Formulario	24
RESULTADOS.....	26
Composición específica	26
Riqueza y abundancia.....	29
Diversidad de crustáceos	33
Parámetros físicos y químicos del agua.....	36
Variación estacional	37
Estacionalidad y recambio de especies	38
Análisis de rango-abundancia	38
Asociaciones de similitud	44



Análisis de Olmstead-Tukey.....	45
Curva de acumulación de especies.....	47
Comparación de la riqueza de crustáceos estuarinos	48
DISCUSIÓN.....	51
Identificación de ejemplares y nuevos registros	51
Riqueza y abundancia de crustáceos	53
Diversidad de crustáceos	57
Parámetros físicos y químicos	57
Variación estacional	59
Estacionalidad y recambio de especies	62
Análisis de rango-abundancia	64
Temporada de lluvias (2018)	64
Temporada de nortes (2019).....	65
Temporada de secas (2019).....	65
Temporada de lluvias (2019)	65
Temporada de nortes (2019).....	66
Asociaciones de similitud	67
Análisis de Olmstead-Tukey.....	67
Curva de acumulación de especies.....	69
Comparación de la riqueza de crustáceos estuarinos	70
CONCLUSIONES.....	72
LITERATURA CITADA	74
ANEXO	87
Catálogo fotográfico.....	87



RESUMEN

La laguna de Sontecomapan es un cuerpo de agua costero con características oligohalinas que se ubica al sureste del estado de Veracruz, debido a su conexión con el Golfo de México y sus características florísticas y sedimentarias, alberga una gran cantidad de ambientes. Dentro de esta variedad, los pastos marinos son particularmente importantes ya que constituyen parches de vegetación acuática sumergida que otorgan sitios de refugio, crianza, reproducción y alimentación para muchos organismos. Se ha visto que uno de los grupos más abundantes en estos ambientes son los crustáceos, quienes, por su abundancia y diversidad, forman elementos clave en la estructura de las comunidades. En el presente estudio, se realizaron 5 muestreos con una red tipo cuchara en diferentes temporadas climáticas, se contabilizó la riqueza y abundancia de los crustáceos y se calcularon pruebas e índices ecológicos para analizar la estructura de la comunidad. Se tomaron parámetros físicos y químicos del agua para determinar la variación estacional y, finalmente, se generó un catálogo fotográfico. En total se obtuvieron 957 organismos, agrupados en 26 especies, 18 géneros, 18 familias y cuatro órdenes; de las cuales, 16 se presentan como nuevo registro para la laguna de Sontecomapan. El índice de Shannon-Wiener, junto con el índice de Margalef, mostraron que la diversidad de la comunidad es alta, el índice de dominancia de Simpson reveló que no hay una fuerte dominancia de especies y el índice de equitatividad de Pielou mostró que las especies se distribuyen de manera homogénea. La mayor riqueza se registró en la época de lluvias y en época de nortes, de igual manera en la época de lluvias se registró la mayor abundancia de organismos y la menor en la época de secas. Los peracáridos dominaron en cuanto a abundancia, pero en términos de riqueza, los decápodos destacaron. Nueve especies se presentaron en todas las épocas de muestreo: *Apocorophium louisianum*, *Cerapus bentophilus*, *Farfantepenaeus aztecus*, *Cuapetes americanus*, *Condrochelia savingyi*, *Cymadusa compta*, *Discapseudes holthuisi*, *Clibanarius vittatus* y *Eurypanopeus depressus*. Finalmente se encontró que la riqueza y abundancia de crustáceos presentes en los pastos marinos de la laguna de Sontecomapan es igual o mayor a los datos reportados para diferentes sistemas estuarinos del estado de Veracruz, lo que refleja que es un ambiente clave para el sustento de la carcinofauna costera.

Palabras clave: Pastos marinos, crustáceos, riqueza, comunidad, diversidad.

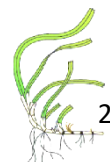




ABSTRACT

This current research examined the community characteristics of crustaceans associates with seagrass in the Sontecompan lagoon, Veracruz, México. Five samples were taken in the seagrass meadows by using a net and the samples were taken in three different season across the 2018 and 2019: rainy, dry and north season. The species richness and abundance of crustacean were recorded and also diversity indices were used to analyze the community structure. Physicochemical properties were taken to determinate the seasonal changes and finally a photographic catalog were made. 957 organisms were obtained in 26 species, 18 genera, 18 families and four orders; 16 species are new records for Sontecomapan lagoon. The Shannon-Wiener and Margalef biodiversity index showed that diversity was high to the community, the Simpson's Dominance Index indicated that a strong dominance does not exist to the species and the Pielou equitability index showed that the species have a homogeneous distribution. The major value of richness was recorded in the rain and north season, in addition the major value of abundance was recorded in the rain season and the least values was recorded in the dry season. The superorder Peracarida was stand out to the other groups due to its high abundance but in terms of the richness species, the group of decapods was major. Nine species was recorded in all seasons: *Apocorophium louisianum*, *Cerapus bentophilus*, *Farfantepenaeus aztecus*, *Cuapetes americanus*, *Condrochelia savingyi*, *Cymadusa compta*, *Discapseudes holthuisi*, *Clibanarius vittatus* and *Eurypanopeus depressus*. Finally, it was found that the species richness and the abundance of the crustaceans associated with seagrass in Sontecomapan lagoon was equal or major to the reported data for the different estuarine environments in Veracruz, indeed this results show that seagrasses are a key environmental for maintaining to the carcinofauna of Veracruz.

Key words: Seagrasses, crustaceans, richness, community, diversity.





INTRODUCCIÓN

El estado de Veracruz resalta por presentar una gran cantidad de ambientes estuarinos, entre ellos uno de los más representativos son las lagunas costeras. Estos ambientes semicerrados se caracterizan por mantener una comunicación con el mar y una influencia importante de diferentes fluentes fluviales. Además, presenta procesos sedimentarios y características florísticas particulares que dan como resultado una gran heterogeneidad ambiental (Álvarez-Arellano y Gaitán, 1994). Dentro de los ecosistemas presentes, los pastos marinos son ambientes particularmente importantes ya que como vegetación acuática que otorga complejidad estructural al cuerpo de agua, son fundamentales como sitios de asentamiento, refugio, crianza, reproducción y alimentación para los organismos presentes en el sistema (Van Tussenbroek *et al.*, 2010).

¿Qué son los pastos marinos?

Los pastos marinos integran un grupo artificial de plantas acuáticas angiospermas: monocotiledóneas y pertenecientes al orden de las Alismatales. Se considera un grupo no natural o artificial, aquel que incluye a los miembros del grupo y a su ancestro, pero no a todos sus descendientes (grupo parafilético) o cuando se tienen taxones que provienen de ancestros distintos dentro del mismo grupo (grupo polifilético) (Castillo-Cerón y Goyenechea, 2007). Como caso particular, los pastos marinos forman un grupo ecológico, y no un grupo taxonómico. Esto implica que las diversas familias de pastos marinos no necesariamente están estrechamente relacionadas filogenéticamente, sino que más bien al compartir características, hábitat y formas de vida se han agrupado juntos (Hartog y Kuo, 2007; Castillo-Cerón y Goyenechea, 2007). Están representados por tres familias: Zosteraceae, Posidoniaceae y Cymodoceaceae (Hartog y Kuo, 2007).

Morfología y reproducción

Los pastos marinos observan una arquitectura a manera de tallos modificados que crecen de manera horizontal llamados rizomas; del tallo modificado se generan las raíces, las cuales sirven para el anclaje de la planta, la absorción de nutrientes del sedimento y el intercambio gaseoso (Phillips y Meñez, 1988; Hoil-Baeza, 2012). Del rizoma también se generan los ejes de crecimiento verticales (vainas) que serán los que contengan a las hojas y





flores (Fig. 1). Las hojas generalmente son planadas, delgadas y alargadas, pero su forma varía dependiendo de las especies (González, 1976; Waycott *et al.*, 2014).

En los pastos marinos puede darse tanto la reproducción asexual como sexual. La reproducción asexual consiste en la fragmentación del rizoma. Los fragmentos, al asentarse, generan clones de la planta proveniente, ya que poseen la misma composición genética. Por otro lado, en la reproducción sexual, se genera una polinización abiótica, en donde los granos de polen son transportados por el agua desde los estambres hasta el estigma del pistilo (polinización hidrófila). En la mayoría de las especies de pastos marinos, las flores masculinas y femeninas se presentan en plantas distintas, es decir son especies dioicas (Van Tussenbroek *et al.*, 2009; 2010).

Hábitat

Los pastos marinos se encuentran en zonas costeras, desde la zona intermareal hasta una profundidad de 50 m. Son un grupo sumamente especializado, ya que se encuentran sumergidos en ambientes estuarinos, creciendo sobre fondos lodosos, en aguas generalmente con altos niveles de oxígeno disuelto y en zonas fuertemente influenciadas por el régimen de mareas diario y estacional; esto significa que se enfrentan a cambios abruptos de salinidad debido a la variación de entrada de agua salada en su hábitat, razón por la cual, generalmente presentan un rango amplio de tolerancia. Estas condiciones determinan la distribución de las especies ya que cada una presenta preferencias o tolerancias diferenciales y estas características, a su vez, les confieren alta capacidad competitiva y de colonización de ambientes (Van Tussenbroek *et al.*, 2010; Hoil-Baeza, 2012).



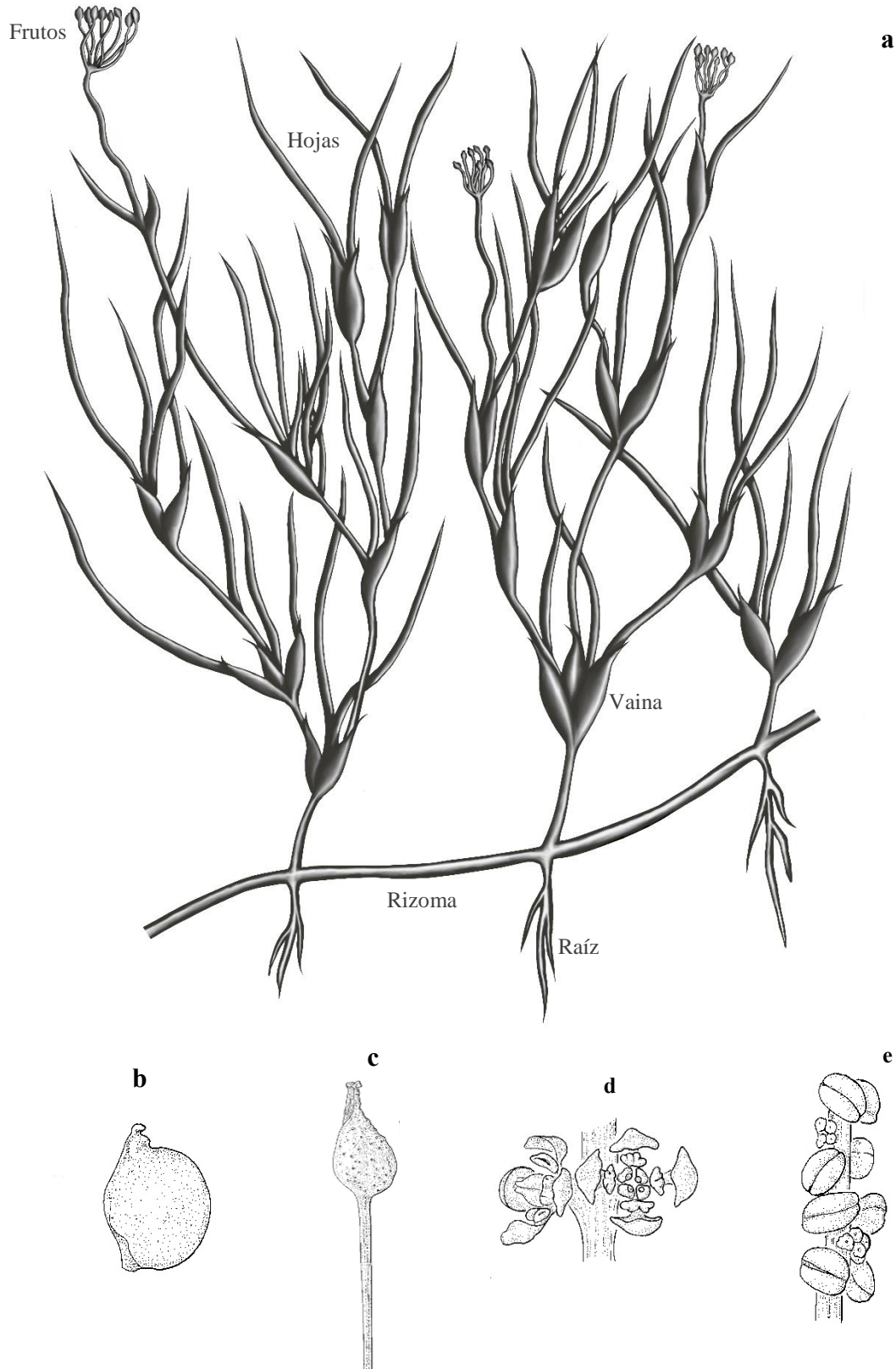
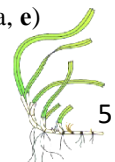


Figura 1. Morfología general de un pasto marino: **a)** Estructuras los frutos, hojas, vainas, rizoma y raíces. Realizado por Jorge Luis Flores Medina, 2020. **b)** Semilla, **c)** Fruto maduro, **d)** Flor femenina, **e)** Inflorescencia. Tomado y modificado de Flora of North America Association.





Importancia de los pastos marinos

Los pastos marinos tienen diferentes funciones dentro del ecosistema, tienen la capacidad de filtrar el agua, sus hojas disminuyen la fuerza de la corriente y sus rizomas estabilizan el sedimento, disminuyendo así la erosión de las playas. Las hojas también disminuyen la turbulencia del agua, lo cual facilita la sedimentación de la gran cantidad de materia orgánica disuelta (MOD) proveniente de las aguas continentales (Green y Short, 2003). Esto no solo permite que las praderas de pastos marinos resulten ambientes ricos en alimento para los organismos asociados, sino que además evitan la eutrofización de los ecosistemas marinos, como por ejemplo los arrecifes de coral, permitiendo así el paso de una mayor cantidad de luz a los mismos. Por otro lado, al ser organismos fotosintéticos, son importantes en la captación del dióxido de carbono (CO_2) del ambiente y producción de oxígeno (Figs. 2, 3) (Stoner, 1980; Gutiérrez-Aguirre *et al.*, 2000; Van Tussenbroek *et al.*, 2010). Al participar en tantos procesos, los pastos marinos se consideran buenos bioindicadores de la salud de los ecosistemas acuáticos (Wood y Lavery, 2000). Por otro lado, la vegetación acuática sumergida ofrece múltiples ventajas a los organismos asociados a ellos, tales como microhábitats, refugio para las larvas y juveniles, gran cantidad de alimento disponible, altos niveles de oxígeno, menor turbulencia del agua, mayor estabilidad de los sedimentos y protección ante las condiciones climáticas cambiantes (Heck y Wetstone, 1977; Thayer *et al.*, 1984; Ramírez-Rojas, 2007).



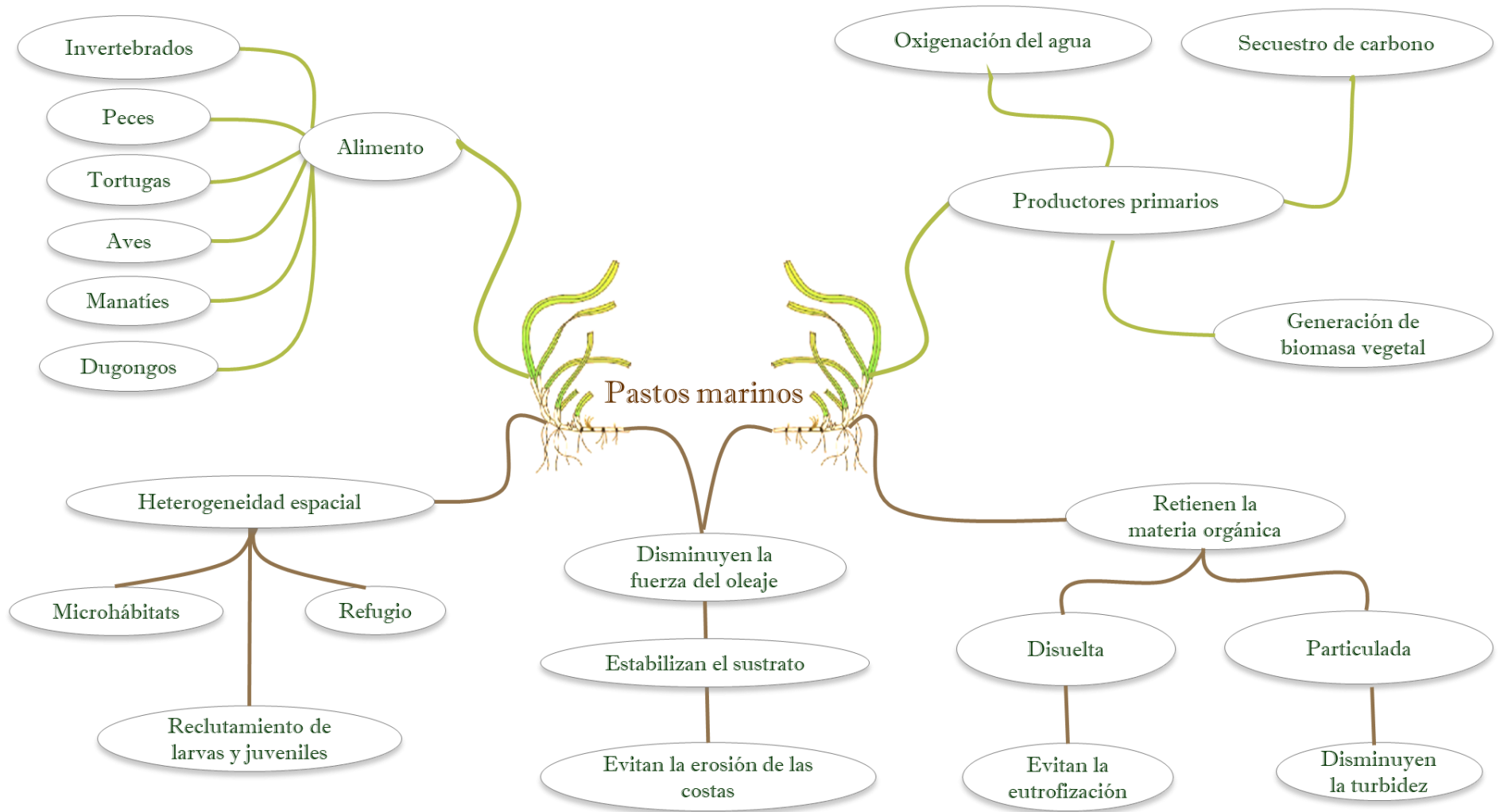


Figura 2. Mapa conceptual de la importancia de los pastos marinos con base a los servicios ecosistémicos que brindan.



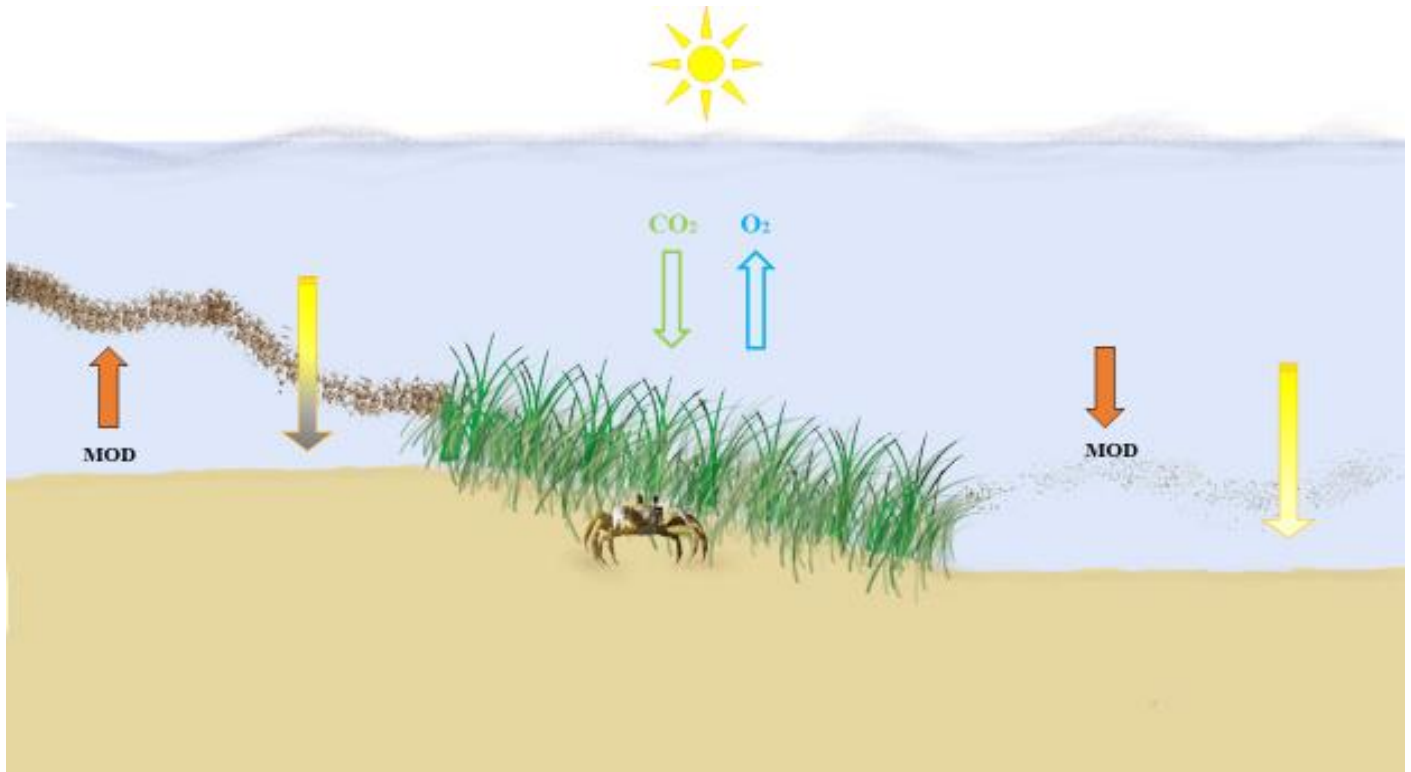


Figura 3. Funcionalidad de las praderas de pastos marinos en las lagunas costeras. Los pastos marinos sedimentan la materia orgánica disuelta (MOD) que llega al mar con la descarga de las aguas continentales, filtrando de esta manera las aguas, utilizando estos nutrientes para la elaboración de biomasa vegetal, disminuyendo la turbidez y permitiendo el paso de la luz solar a la columna de agua, favoreciendo así a otros ecosistemas marinos como los arrecifes de coral. Al ser organismos fotosintetizadores, proporcionan zonas de mayor intercambio gaseoso y aguas ricas en oxígeno. Por su estructura tridimensional, enriquecen la complejidad del ambiente generando múltiples microhábitats y microambientes.



Crustáceos

Se ha documentado ampliamente que, dentro de la comunidad de invertebrados asociados a los pastos marinos, los crustáceos se encuentran bien representados tanto en diversidad como en abundancia (Heck y Wetstone, 1977; Sánchez *et al.*, 1996; Ramírez-Rojas, 2007; Winfield *et al.*, 2007; Rodríguez-Varela, 2019). El subphylum Crustacea es uno de los grupos de artrópodos más conocido en todo el mundo, debido a su amplia distribución y al gran número de especies de interés comercial. Se encuentran en todas las profundidades y en todos los ambientes: marino, salobre, dulceacuícola y terrestre. Presentan una enorme diversidad morfológica, pero comparten características diagnósticas como: cuerpo regionalizado en una cabeza con cinco pares de apéndices (anténulas, antenas, mandíbulas, maxíbulas y maxilas), tronco con un número variable de segmentos y generalmente dividido en tórax y abdomen, apéndices birrámeos, una cutícula quitinosa generalmente calcificada, intercambio gaseoso a partir de branquias que están asociadas a los apéndices y un primer estadio larval planctónico conocido como nauplio (Rivas y Hoffmann, 2007).

Dentro de la gran variedad de formas que presenta este subphylum, el orden Decapoda contiene a las formas más conocidas de crustáceos como son los camarones, cangrejos, langostinos y langostas. Las características más evidentes que agrupan a los decápodos, son la presencia de cinco pares de apéndices ambulatorios o pereiópodos, unidos a la región torácica, los tres primeros pares pueden estar quelados o no y las branquias organizadas dentro de cámaras branquiales especializadas y cubiertas por el cefalotórax (Wolvekamp y Waterman, 1960; Alvarez y Villalobos, 1997).

Los decápodos se dividen en dos grandes grupos, el suborden Dendrobranchiata y el suborden Pleocyemata (Ahyong *et al.*, 2011), el primero es un grupo moderadamente diversificado (Hendrickx, 1993), pero incluye a los camarones de mayor aprovechamiento comercial, son los que normalmente se consumen en todo el mundo y cuya aportación a la economía de diferentes países puede ser de los más altos valores monetarios de la actividad pesquera de los litorales y de lagunas costeras. Existen más de 500 especies descritas de las cuales cerca de 300 son de interés económico, la mayoría pertenecen a la superfamilia Penaeoidea (Hendrickx, 1995; Álvarez *et al.*, 2011).





Los camarones se caracterizan por presentar un cuerpo comprimido, un rostro desarrollado y generalmente dentado, el primer par de antenas, o anténulas, presenta una proyección conocida como estilocerito y el segundo par, o antenas, tiene asociada una placa laminar en la base llamada escafocerito. Los tres primeros pares de pereiópodos generalmente presentan dactilos y propodios modificados como quelas que les sirven para la manipulación del alimento y el resto de los pereiópodos son utilizados para la locomoción. Los cinco pares de apéndices asociados al abdomen (pleópodos), generalmente están bien desarrollados y son utilizados para la natación (Hendrickx, 1995).

Por su parte el suborden Pleocyemata, incluye al resto de los decápodos, los cuales presentan una considerable variedad de patrones corporales, desde los que tienen forma de camarón que se encuentran en los infraórdenes Procarididea, Stenopodidea y Caridea, hasta los más derivados que tienen forma de cangrejo del infraorden Brachyura, pasando por formas intermedias como las langostas espinosas (infraorden Achelata), los acociles (Astacidea), los camarones y langostas del lodo (infraórdenes Axiidea y Gebiidea) y los cangrejos ermitaños y formas afines (infraorden Anomura) (Hendrickx, 1993). En el infraorden Caridea se agrupan aquellos camarones que presentan la pleura de la segunda somita abdominal sobrepuesta en la primera y en la tercera y el tercer par de pereiópodos nunca terminado en quela o pinza (Hendrickx, 1995). Se conocen más de 2,500 especies de camarones carídeos, aunque aproximaciones estiman que son más de 3,500 (De Grave *et al.*, 2007). La mayoría de ellas son marinas, aunque más de 800 viven en ambientes dulceacuícolas, de estas últimas una proporción considerable son considerados organismos anfídromos, es decir que, durante una parte de ciclo biológico, generalmente en sus fases larvarias, requieren de los ambientes salobres para completar su desarrollo (Bauer, 2011).

Otra de las formas de decápodos más reconocidas y de importancia comercial son los cangrejos, que presentan un patrón morfológico muy distinguible: un caparazón deprimido, ancho, amplio y un abdomen que se encuentra reducido y plegado debajo del cuerpo (Álvarez *et al.*, 2014). Los braquiuros se consideran el pináculo de la evolución del orden Decapoda, ya que su forma deprimida, con un caparazón expandido, las patas articuladas lateralmente y su capacidad para colonizar los ambientes marino, salobre, dulceacuícola y terrestre, los sitúa como uno de los taxones más exitosos de los crustáceos (Stevicic, 1971). Actualmente se





conocen más de 7,000 especies de cangrejos que se distribuyen alrededor del planeta, siendo particularmente diversos en la franja tropical (Yeo *et al.*, 2007).

Además de los decápodos otro grupo de crustáceos de recurrente presencia dentro del ambiente de los pastos marinos es el de los peracáridos. El superorden Peracarida agrupa 11 órdenes, entre los cuales Amphipoda, Isopoda, Lophogastrida, Tanaidacea y Cumacea se encuentran frecuentemente asociados a la vegetación sumergida y presentan variaciones de abundancia y densidad en función a la complejidad estructural del hábitat. Son generalmente de tamaños pequeños, superando rara vez los 20 milímetros, pero hay excepciones. Siguen el patrón general de los crustáceos, presentando un cuerpo dividido en cabeza, tórax y abdomen. Como características diagnósticas, todas las hembras presentan una bolsa ventral (marsupio) formada por los oostegitos (placas de los apéndices torácicos), en la cual incuban sus embriones y todos los individuos presentan una estructura llamada *lacinia mobilis*, la cual corresponde a un proceso móvil y articulado de la mandíbula (Rivas y Hoffmann, 2007; Brusca *et al.*, 2016).

Dentro de los ecosistemas, los crustáceos tienen un papel fundamental en su funcionamiento. Debido a su abundancia, representan una parte importante en la estructura del ecosistema, ya que como consumidores secundarios son fundamentales para la transformación de materia orgánica en energía y a su vez son fuente importante de alimento para otros eslabones más altos en la cadena. Sus hábitos bentónicos y cavadores ayudan en la remoción del fondo marino y con ello oxigenan el sustrato y disponen los nutrientes en la columna de agua (McNeil y Prenter, 2000; Raz-Guzmán, 2010).

Interacciones entre los pastos marinos y los crustáceos

La estructura de una comunidad biológica depende en gran parte de la interacción que tenga la comunidad con los diferentes ambientes presentes en el ecosistema (Carabias *et al.*, 2009). En el caso de las lagunas costeras, las comunidades son el resultado la variación biótica y abiótica que exista dentro de los diferentes ambientes, como pueden ser los manglares, las desembocaduras de los ríos, la desembocadura al mar, los bancos de ostiones, la vegetación aledaña y la vegetación acuática sumergida (Meráz, 2000). Dentro de estos





últimos ambientes se encuentran catalogados los pastos marinos, y su relación con los crustáceos ha sido reconocida y ampliamente estudiada.

Como se mencionó anteriormente, la vegetación acuática sumergida ofrece múltiples ventajas a los organismos asociados a ellos, que son aprovechadas por los crustáceos desde que son larvas y juveniles, hasta su etapa adulta. La relación entre este ambiente y los crustáceos se puede estudiar desde varios niveles, desde su influencia directa en la presencia y abundancia de las diferentes especies, hasta la influencia en la reproducción y alimentación de los organismos. En el primer caso, se ha reportado como las poblaciones de algunos grupos de crustáceos como los peracáridos, presentan una influencia directa de los cambios en la biomasa de los pastos marinos, debido a la complejidad ambiental que otorgan (Winfield *et al.*, 2001; 2007), así como en los procesos de reclutamiento, asentamiento y migración de los crustáceos. Además, se sabe que la riqueza y abundancia de organismos depende, entre otros factores inter e intraespecíficos, de las variaciones de los parámetros fisicoquímicos en el ambiente, ya que estos se relacionan los periodos de reproducción, desove y la dispersión de las larvas y su supervivencia, de manera que, al estar los pastos marinos proporcionando un ambiente con características abióticas únicas, las fanerógamas marinas estarían influyendo directamente en la composición faunística (Morris y Tomasko, 1993, Knowles y Bell 1998).

Por otro lado, existe una estrecha relación trófica entre este ambiente y los crustáceos, que comienza con el consumo del tejido foliar o del detrito de los pastos marinos por parte de meso fauna asociada, comúnmente conocida como ramoneadores como por ejemplo el anfípodo *Gammarus mucronatus* y el cangrejo decápodo *Nectocarcinus integrifrons* (Valentine y Duffy, 2006). Estos ramoneadores, a su vez son la base de la alimentación de muchos otros invertebrados y vertebrados, de manera que esta fauna representa un vínculo desde los productores primarios hasta los niveles tróficos más altos, siendo así importantes recicladores de nutrientes dentro del ecosistema (Klumpp *et al.*, 1989; Briones-Fourzán *et al.*, 2003). Además de consumir la biomasa de los pastos marinos, estos organismos tienen un papel importante en el control de la proliferación de las micro algas epifitas que crecen sobre los pastos marinos (Duffy y Hay, 2000; Jaschinski y Sommer, 2010). Estas interacciones entre el pastoreo de los crustáceos, sobre los pastos marinos y las epifitas se





considera determinante para el mantenimiento de las praderas de pastos marinos y por lo tanto de la productividad del ecosistema (Duffy *et al.*, 2001).

Además de estas dinámicas, los ramoneadores pueden influenciar el ciclo reproductivo de los pastos marinos, a través del consumo de sus semillas (Reynolds *et al.*, 2012) y a través del transporte de polen desde las flores masculinas hasta las flores femeninas, cumpliendo así un rol importante en la polinización acuática de los pastos marinos (Van Tussenbroek *et al.*, 2012). Estos datos revelan una relación estrecha entre este ambiente y sus habitantes asociados, la cual no debe dejar de ser objeto de estudio ya que probablemente sea aún más compleja de lo que se sabe.

JUSTIFICACIÓN

La presión de las actividades humanas sobre los ecosistemas marinos es un problema actual y con repercusiones sobre la flora y fauna que muchas veces es desconocido, sobre todo cuando se trata de grupos de invertebrados. Debido a esto, el presente estudio tiene como finalidad evaluar el estado de la comunidad de crustáceos que albergan los pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. Así como resaltar la importancia de los pastos marinos como hábitat clave para la supervivencia y desarrollo de la fauna acuática. Contribuyendo así con información acerca del estado de esta carcinofauna asociada, que sirva para aumentar los registros ya existentes y para futuras estrategias de conservación de estos ambientes, aportes que resultan importantes en una época marcada por una acelerada pérdida de biodiversidad en México y en el mundo.





ANTECEDENTES

Estudios previos en cuanto a la vegetación sumergida en las lagunas costeras han resaltado la importancia ecológica que posee ésta dentro de los sistemas de transición. En particular, se ha visto que los pastos marinos representan un elemento que agrega complejidad al ambiente acuático, favoreciendo el resguardo de muchos invertebrados y vertebrados aumentando así la diversidad faunística del ecosistema.

Reyes-Barragán y Salazar-Vallejo (1990) estudiaron el bentos asociado al pastizal de *Halodule* en la laguna de La Mancha, Veracruz, México. Encontraron que la abundancia de la biota variaba en relación directamente proporcional con la profundidad de la columna de agua e inversamente proporcional con la temperatura y la salinidad. Registraron que la mayor abundancia de organismos se presentó en la época de lluvias y disminuyó en la época de secas. En cuanto a los crustáceos, mencionan que los grupos más frecuentes y abundantes fueron los anfípodos (*Gammarus* spp.) y los isópodos (*Idothea* sp.).

Raz-Guzmán *et al.* (1992) realizaron un listado y catálogo ilustrado de los crustáceos anomuros y braquiuros de la laguna de Alvarado, Veracruz. Analizaron la abundancia de las especies encontradas, así como datos morfométricos, proporción de sexos, hábitat y su distribución geográfica y local. De 519 organismos observados, estos se agruparon en 14 géneros y 18 especies, en seis familias del infraorden Brachyura y una familia del Infraorden Anomura. Se registró una sola especie de anomuro, *Clibanarius vittatus*. En cuanto a los braquiuros, la familia con la mayor riqueza fue la familia Xantidae con cinco especies, seguida por la familia Grapsidae y posteriormente por la familia Portunidae.

Rocha-Ramírez *et al.* (1992) realizaron un estudio de los atributos de las poblaciones del género *Callinectes* en diferentes ambientes estuarinos del estado de Veracruz. Estudiaron seis cuerpos de agua estuarinos en las lagunas de: Tamiahua, Mandinga, Sontecomapan, Grande, estuario de Casitas y el estuario de Tecolutla. Reportaron tres especies en las lagunas costeras estudiadas, *C. rathbunae*, *C. sapidus* y *C. similis*, de las cuales la más abundante y de mayor distribución en la zona de estudio fue la jaiba azul *C. sapidus* y la especie menos abundante fue *C. rathbunae*. También reportan que *C. sapidus* y *C. similis* se encontraron en todos los muestreos realizados presentando tallas pequeñas por lo que concluyen que estas especies presentan actividad reproductiva la mayor parte del año.





Álvarez *et al.* (1999) aportaron un listado taxonómico de los crustáceos decápodos de Veracruz. Analizaron la riqueza de organismos marinos, estuarinos y dulceacuícolas y reportaron 335 especies distribuidas en el estado de Veracruz, 71% marinos, 18.6% estuarinos y 10.4% dulceacuícolas. Analizaron el patrón de distribución de las especies de acuerdo con las localidades estudiadas y dieron un panorama general del estado de conocimiento de la carcinofauna veracruzana.

Winfield-Aguilar (1999) realizó un análisis ecológico de la asociación de peracáridos a los parches de *R. maritima* presentes en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz. Reportó 11 especies de peracáridos asociados, de las cuales tres resultaron dominantes en el sistema: *Cassidinidea ovalis*, *Gammarus mucronatus* y *Apocorophium louisianum*. Encontró una relación significativa entre la densidad de peracáridos con la profundidad, salinidad y la biomasa de *R. maritima*. También reportó que en la temporada de lluvias se presentó un aumento en la profundidad de la zona y una disminución de los valores de salinidad, lo cual ocasionó que la biomasa del pasto marino presentara un crecimiento diferencial y esto se asoció a un aumento en la densidad de los peracáridos encontrados.

Ramírez-Rojas (2007) analizó la estructura y relaciones ecológicas de los invertebrados asociados a praderas de *Ruppia maritima* en el sistema lagunar de Alvarado. Obtuvo 56 taxa asociados a estas praderas, el superorden Peracarida fue el grupo mejor representado siguiéndole el phylum Mollusca y posteriormente el orden Decapoda. Reportó que la riqueza taxonómica más alta se registró en la temporada de secas y la menor, en temporada de nortes. En cuanto a la relación de biomasa y densidad de invertebrados asociados, encontró que no hay relación significativa entre las dos variables.

Winfield *et al.* (2007) estudiaron la influencia de biomasa de los pastos marinos en la densidad de crustáceos peracáridos en las lagunas tropicales. Reportaron una relación significativa entre la biomasa de *Ruppia maritima* y la densidad de peracáridos, asumiendo que los pastos proporcionan un espacio idóneo para el establecimiento de organismos epibiontes debido al incremento de microhábitats empleados como sitios de refugio, reproducción, crianza y alimentación.

Sotelo-Giner (2015) estudió la distribución y biomasa de las praderas de pastos marinos de la especie *Halodule wrightii* presentes dentro de la laguna de Tampamachoco, Veracruz, México. Aportó datos acerca de la sustentabilidad de este hábitat y registra





cambios de biomasa y distribución de las praderas de este pasto marino dentro de la laguna costera en función a la temporada de muestreo.

Raz-Guzmán y Soto (2017) estudiaron los patrones de distribución de los anfípodos estuarinos del Golfo de México realizando un muestreo estacional en la laguna Madre y la laguna de Tamiahua, muestreando zonas con vegetación sumergida y sustratos sin vegetación. Encontraron 19 especies de anfípodos, entre las cuales *Cymadusa compta* fue dominante en ambas lagunas. En la laguna Madre, *C. compta* resultó con el 61.7% de la abundancia total, seguida por *Elasmopus levis* con el 20.6%. En Tamiahua *C. compta* resaltó con el 66.8% seguido por *Gammarus mucronatus* con el 13.4%. Además, aportaron nuevos registros de especies, siete en la laguna Madre y 11 en Tamiahua.

Flores-Medina (2018) realizó un estudio de los patrones de distribución de crustáceos decápodos reportados para la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. Utilizando los registros de la base de datos de la Colección Nacional de Crustáceos del Instituto de Biología UNAM. Determinó que, en 80 años de registros de colectas, se han registrado 43 especies, 26 géneros y 13 familias. La especie mejor representada en cuanto a abundancia fue *Callinectes sapidus*. También comparó los datos obtenidos con cuatro lagunas del Golfo de México y concluyó que la laguna de Sontecomapan tiene una buena representación en cuanto a riqueza de decápodos resultando con una mayor cantidad de especies en comparación con la laguna de Alvarado con 25 especies, similar a la laguna de Tamiahua con 44 especies, pero menos rica que la laguna de Términos con 90 especies.

Rodríguez-Varela *et al.* (2019) realizaron un listado taxonómico de los invertebrados bentónicos del sistema lagunar Mandinga, Veracruz, México. Los órdenes Decapoda, Amphipoda y Tanaidacea fueron los más diversos. La diversidad de los decápodos se mantuvo constante a lo largo del tiempo de muestreo (2008-2015) a pesar de que este sistema lagunar presenta temporadas climáticas bien establecidas. Reportaron una diversidad relativamente baja de anfípodos con solo cuatro especies, tres de las cuales se dejaron como morfotipos indeterminados y solo se identificó una especie (*Hyaella azteca*). En cuanto a los tanaidáceos se reportaron tres especies: *Discapseudes mexicanus*, *Chondrochelia dubia*





y *Leptochelia rapax*. El grupo de los isópodos también presentó tres especies: *Munna* sp., *Cassidinidea ovalis* y *Edotia triloba*.

En general todos estos antecedentes reportan una diversa fauna de crustáceos en las lagunas costeras del estado de Veracruz, y otras del Golfo de México. Como grupos dominantes están, en términos de abundancia, los anfípodos y en términos de diversidad, los decápodos. También se desprende una clara variación estacional que afecta la densidad y tamaño de los parches con pastos marinos.

HIPÓTESIS

Si los pastos marinos son un hábitat que proporciona múltiples ventajas a los organismos asociados, entonces las praderas presentes en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México, facilitarán las condiciones idóneas para albergar una alta riqueza y abundancia de crustáceos. Así mismo, como resultado de la variación estacional de los parámetros fisicoquímicos ocurrientes en la laguna de Sontecomapan, la comunidad de crustáceos asociados a la vegetación acuática sumergida, presentará cambios en su estructura como resultado de las interacciones con las condiciones abióticas del ecosistema.





OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar la estructura de la comunidad de crustáceos asociados a los pastos marinos presentes en la boca de comunicación de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.

Objetivos Particulares

- Identificar taxonómicamente los organismos recolectados.
- Determinar la riqueza de las especies de crustáceos asociadas a los pastos marinos de la boca de comunicación de la laguna de Sontecomapan.
- Determinar la abundancia de cada especie de crustáceos.
- Analizar la diversidad de crustáceos con base en el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'), índice de biodiversidad de Margalef (D_{Mg}), índice de dominancia de Simpson (D) y el índice de equitatividad de Pielou (J').
- Comparar la similitud entre los meses de muestreo con base en las especies de crustáceos encontrados y aplicando el índice de similitud de Sorensen (S).
- Estimar la riqueza de especies de crustáceos asociados a pastos marinos de la boca de comunicación de la laguna de Sontecomapan realizando una curva de rarefacción.
- Ponderar la dominancia de especies mediante un análisis de Olmstead-Tukey.
- Analizar la variación de los parámetros físicos y químicos en los diferentes meses de muestreo.
- Comparar la riqueza encontrada en los pastos marinos de la laguna de Sontecomapan con la de los principales ambientes estuarinos del estado de Veracruz.
- Realizar un catálogo fotográfico de crustáceos asociados a los pastos marinos.





ÁREA DE ESTUDIO

La laguna de Sontecomapan se encuentra en la región de Los Tuxtlas, perteneciente al municipio de Catemaco ubicado en el sur del estado de Veracruz, México (18° 32' N, 95° 01' W) (Fig. 4a). La región presenta relieves de origen volcánico importantes como el volcán San Martín Tuxtla que se sitúa al este de la laguna y la sierra de Santa Marta al sur. Su extensión es de alrededor de 12 km de largo y 1.5 km de ancho y tiene una profundidad promedio de 1.5 m. La cuenca se ve influenciada por varios afluentes (Fig. 4b) como La Palma, Sumidero, Basura, Chuniapan, Coscoapan, El Fraile, Sábalo, Los Pollos y La Boya. Colinda en el norte con el Golfo de México en una zona conocida como La Barra y ésta es su única desembocadura al mar (Reséndez-Medina, 1983; Castro-Gutiérrez, 1986). La laguna de Sontecomapan es de características estuarinas, por lo que presenta una salinidad promedio de 10 - 20 ppm. Presenta una temperatura promedio de 25 - 30 °C y un valor de oxígeno disuelto que oscila entre 5.0- 6.0 mg/L (Contreras-Espinoza *et al.*, 2000).

De acuerdo con la clasificación climática propuesta por Köppen y modificada por García (1970), la laguna de Sontecomapan presenta un clima Am (f)(i) cálido húmedo con lluvias todo el año. La precipitación anual es mayor a 4,500 mm y la temperatura promedio es de 29.7 °C, con un máximo de 30.8 °C y un mínimo de 28.8 °C. Presenta variaciones en cuanto al régimen de lluvias que permiten distinguir temporadas climáticas que a su vez generan condiciones variables de los parámetros fisicoquímicos dentro de la laguna. En general, se distinguen tres temporadas climáticas: una temporada de secas que se presenta de marzo a mayo, una temporada de lluvias que se presenta de junio a octubre y una temporada de nortes de septiembre a febrero, con un alto porcentaje de lluvias y fuertes vientos que se desplazan a velocidades de hasta 100 km por hora, produciendo descensos importantes de temperatura en esos meses. El periodo más seco es de febrero y marzo, mientras que el mes con mayor precipitación es septiembre (EBTuxtlas, 2006).

La vegetación más representativa corresponde al mangle rojo *Rhizophora mangle*, Linnaeus, 1753 y el mangle negro *Avicennia germinans*, Linnaeus, 1758. En cuanto a la vegetación acuática sumergida se encuentra el pasto marino *Ruppia maritima* Linnaeus, 1753 y *Tifal* sp. (Reséndez-Medina, 1983; Contreras, 1993).





Figura 4. a) Ubicación de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México, **b)** laguna de Sontecomapan y los principales afluentes en el sistema. El marcador rojo indica la zona de pastos marinos en donde se realizaron los muestreos del presente trabajo. Tomado y modificado de INEGI, 2019.





MATERIAL Y MÉTODO

Trabajo de campo

Se realizaron cinco muestreos en la zona de pastos marinos dentro de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México, esta zona se encuentra ubicada en el norte de laguna, frente de la barra de Sontecomapan y a la desembocadura con el mar. Las colectas se realizaron en diferentes temporadas. El primer muestreo se realizó en agosto de 2018, el segundo en febrero de 2019, el tercero en mayo de 2019, el cuarto en agosto de 2019 y el quinto en noviembre del mismo año. Para la colecta de los organismos se realizaron cuatro arrastres paralelos entre sí de 20 metros cada uno, con una red de tipo cuchara (Fig. 5). Se tomaron las coordenadas de cada sitio y los siguientes parámetros fisicoquímicos: salinidad (ppm), pH, temperatura (°C) y oxígeno disuelto (ml/L). Para recabar los datos se empleó el sensor multiparámetro YSI, modelo 556.

Las muestras obtenidas con la red de cuchara, se depositaron en bolsas plásticas herméticas de 26.8 cm x 27.3 cm. Se etiquetaron con el número de transecto correspondiente y se guardaron en una hielera para su transporte y posterior procesamiento. También se tomaron muestras de los pastos marinos presentes en el área, sustrayéndolos de forma manual.

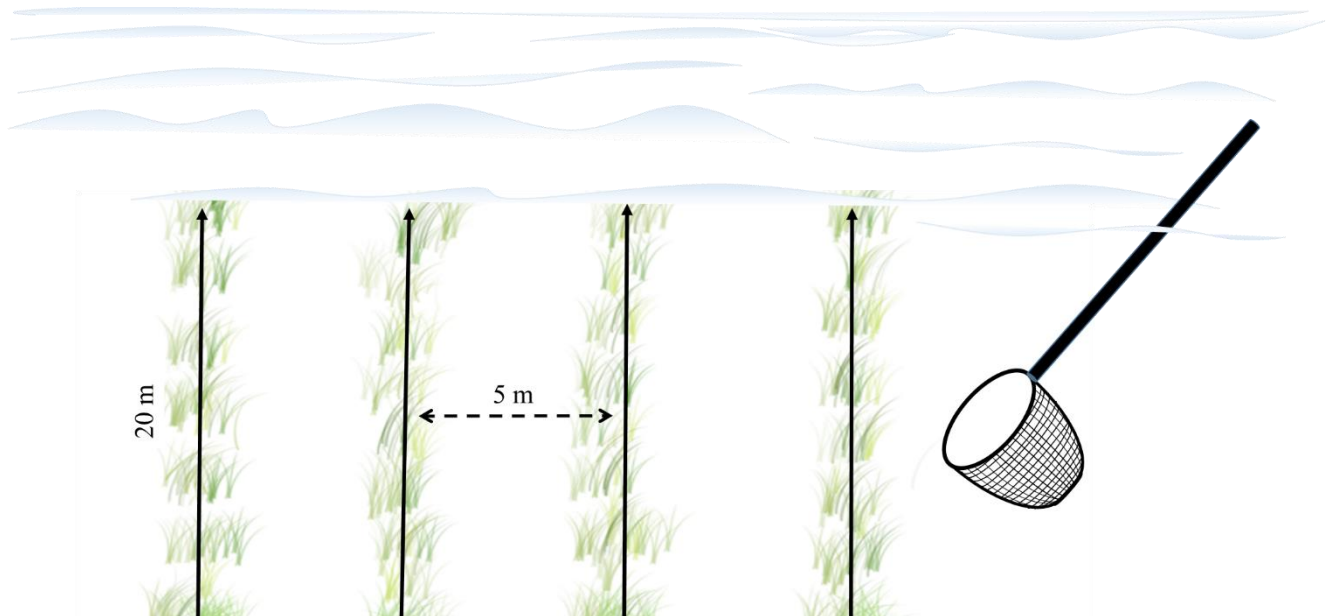


Figura 5. Longitud y distancia entre los transectos realizados con la red tipo cuchara dentro de la zona de pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz.





Procesamiento de las muestras

Las muestras fueron transportadas a la estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, Veracruz, México en donde fueron separados los crustáceos por morfotipos y colocados en frascos con etanol al 70% para su conservación y posterior identificación taxonómica. Para la herborización de los pastos marinos recolectados, se seleccionó aquellos que presentaban las estructuras de importancia taxonómica (hojas, rizoma, raíces, flor y fruto), se acomodaron de forma extendida en hojas de periódico y fueron prensados. Las hojas de periódico fueron cambiadas cada seis horas aproximadamente para permitir el secado de los ejemplares y su correcta preservación.

Análisis en laboratorio

En la Colección Nacional de Crustáceos (CNCR) del Instituto de Biología (IB), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), los organismos fueron identificados, utilizando un microscopio estereoscópico OLYMPUS SZH10 y utilizando claves taxonómicas. Para camarones peneidos y carideos (Pérez-Farfante, 1970; Chace, 1972; Williams, 1984; Holthuis, 1993; Hendrickx, 1995; Hernández-Aguilera *et al.*, 2005; Ortíz *et al.*, 2008; Almeida *et al.*, 2012; Anker, 2012); para peracáridos (Ortiz, 1994; Le Croy, 2000, 2002, 2004 y 2007; Heard *et al.*, 2003; Guțu, 2006; García-Madrigal, 2007) y; para cangrejos braquiuros (Abele y Kim, 1986; Rathbun, 1918; Williams, 1984). Una vez identificadas las especies, los ejemplares de cada una fueron registrados en los diferentes catálogos de la CNCR, para que quedaran depositados formalmente en dicho acervo.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos con los muestreos realizados fueron introducidos a una base de datos, con la cual se trabajó para la obtención de la riqueza y abundancia por fecha de muestreo y por cada uno de los grupos de crustáceos encontrados. Con las abundancias obtenidas, se realizó una curva de rango abundancia, con la cual se comparó la composición de especies encontradas en las diferentes temporadas de muestreo. También se obtuvo un gráfico donde se comparó la riqueza de cada uno de los muestreos y se analizó la variación temporal de este valor a lo largo del tiempo de estudio.





Con los datos de riqueza y abundancia se evaluó el índice de diversidad de Shannon Wiener (H'), el índice de biodiversidad de Margalef (D_{Mg}), el índice de dominancia de Simpson (D) y el índice de equitatividad de Pielou (J'). De igual forma se obtuvo el índice de similitud de Sorensen, con el cual se comparó la composición de especies encontradas en los diferentes meses de muestreo.

Se evaluó el esfuerzo de muestreo, realizando una curva de acumulación de especies con ayuda del software EstimateS 9.1.0 y empleando el estimador de riqueza esperada Chao 2. Este estimador se basa en la presencia o ausencia de las especies analizadas en cada muestra y cuantas veces se presenta en el conjunto de muestras. Este estimador no paramétrico es particularmente útil en estudios de grupos hiperdiversos, como lo son los crustáceos (Chao, 1984; Moreno, 2001; Escalante, 2003).

Se realizó un análisis de asociación Olmstead-Tukey. Esta herramienta estadística ayuda a analizar y comparar gráficamente la abundancia y frecuencia de aparición entre las especies, esto permite identificar cuáles se pueden considerar como dominantes, constantes, ocasionales o raras, dentro de una comunidad. Para esto se obtiene una media aritmética de la frecuencia de aparición (representado en porcentaje) y se traza en el eje de las "X", de igual forma, se debe calcular la mediana del logaritmo de la sumatoria absoluta de los valores de abundancia de las especies, y ésta se traza en el eje de las "Y". Posteriormente se grafican los valores correspondientes a cada especie y aquellas que presenten una abundancia y frecuencia, mayor a la media aritmética de las variables, se consideraran especies **dominantes**. Si la abundancia es mayor que la media, pero la frecuencia es menor, se consideran **ocasionales**, si la abundancia es menor que la media establecida, pero su frecuencia es mayor a la media se consideran **constantes** y si la abundancia y la frecuencia es menor a sus medias correspondientes, se consideran especies **raras** (Varona-Cordero y Gutiérrez, 2003).





Formulario

Índice de Shannon-Wiener (H')

$$H' = \sum_{i=1}^S pi \times \log_2 pi$$

Donde:

S = número de especies (riqueza específica)

pi = proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos ($\frac{ni}{N}$)

ni = número de individuos de la especie i

N = total de individuos de todas las especies

El rango del índice de Shannon-Wiener va de 1 a 5 y los valores cercanos a 3 se consideran diversos.

Índice de diversidad de Margalef (D α)

$$D\alpha = \frac{S - 1}{\text{Log } N}$$

Donde:

S = número de especies

N = total de individuos de todas las especies

A mayor valor del índice de Margalef se refleja un mayor valor de riqueza de especies.

Índice de dominancia de Simpson (D)

$$D = \sum pi^2$$

Donde:

pi = proporción individuos de la especie i respecto al total de individuos ($\frac{ni}{N}$)

ni = número de individuos de la especie i

N = total de individuos de todas las especies

El rango del índice de dominancia de Simpson va de 0 a 1. Entre más cercano sea el valor a 1 mayor es la dominancia.

Índice de equitatividad de Pielou (J')

$$J' = \frac{H'}{H'_{\text{máx}}}$$

Donde:

H' = índice de Shannon-Wiener

H' máx = diversidad máxima (Log₂ S)

S = número total de especies





El rango del índice de equitatividad de Pielou va de 0 a 1. Entre el valor sea más cercano a 1 las abundancias de las especies se distribuyen de manera más homogénea.

Coefficiente de similitud de Sorensen (S)

$$S = \frac{2C}{a+b} \times 100$$

Donde:

C = número de especies compartidas entre las comunidades **a** y **b**

a = número de especies encontradas en la comunidad **a**

b = número de especies encontradas en la comunidad **b**

El rango del coeficiente de similitud de Sorensen va de 0 a 1. Entre el valor sea más cercano a 1 las comunidades son más parecidas en cuanto a la composición de especies.

Con los valores de parámetros fisicoquímicos recabados a lo largo de las diferentes temporadas de muestreo, se realizó un gráfico con el que se analizó la fluctuación de estos valores a través del tiempo, para analizar la influencia de las condiciones abióticas en la estructura de la comunidad. Posteriormente, se compiló la información acerca del número de especies registradas para diferentes ambientes estuarinos dentro del estado de Veracruz y se realizó una comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio, para obtener un panorama general del aporte de los pastos marinos, como reservorio de las especies de crustáceos dentro del estado.

Finalmente se realizó un catálogo fotográfico de los organismos reportados en este muestreo, con la ayuda del microscopio estereoscópico OLYMPUS SZH10 y una cámara fotográfica. Para los peracáridos se tomaron fotografías con el microscopio estereoscópico LEICA Z16 APOA y la cámara Leica DFC490 y utilizando el programa LAS (Leica Application Suite versión 4.3.0.); equipos presentes en el laboratorio de microscopía y fotografía de la biodiversidad, área de fotografía multifocal dentro del Instituto de Biología, UNAM.





RESULTADOS

Composición específica

Se encontraron 26 especies de crustáceos en todo el muestreo, las cuales se organizan en una clase, cuatro órdenes, 18 familias y 18 géneros. La lista taxonómica de los crustáceos asociados a pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México, de acuerdo con la propuesta de clasificación general de Ahyong *et al.* (2011) y para los anfípodos de Lowry y Miers (2013, 2017), (Tabla 1).

Tabla 1. Listado taxonómico de los crustáceos asociados a pastos marinos en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.

Reino Animalia

Phylum Arthropoda von Siebold, 1948

Subphylum Crustacea Brünnich, 1772

Clase Malacostraca Latreille, 1802

Subclase Eumalacostraca Grobben, 1892

Superorden Peracarida Calman, 1904

Orden Amphipoda Latreille, 1816

Suborden Senticaudata Lowry y Myers, 2013

Infraorden Corophiida Leach, 1814

Parvorden Corophiidora Lowry y Myers, 2013

Superfamilia Corophioidea Leach, 1814

Familia Corophiidae Leach, 1814

Subfamilia Corophiinae Leach, 1814

Tribu Corophiini Leach, 1814

Género *Apocorophium* Bousfield y Hoover, 1997

Especie *Apocorophium louisianum* (Shoemaker, 1934)

Familia Ampithoidae Boeck, 1871

Género *Cymadusa* Savigny, 1816

Especie *Cymadusa compta* (S.I. Smith in Verrill, 1873)

Superfamilia Aoroidea Stebbing, 1899

Familia Aoridae Stebbing, 1899

Género *Grandidierella* Coutière, 1904

Especie *Grandidierella bonnieroides* Stephensen, 1947

Superfamilia Photoidea Boek, 1871

Familia Ischyroceridae Stebbing, 1899

Subfamilia Ischyrocerinae Stebbing, 1899

Tribu Cerapodini Smith, 1880

Género *Cerapus* Say, 1817

Especie *Cerapus benthophilus* Thomas y Heard, 1979

Infraorden Gammarida Latreille, 1802

Parvorden Gammaridira Latreille, 1802

Superfamilia Gammaroidea Latreille, 1802





Familia Gammaridae Leach, 1814
Género *Gammarus* Fabricius, 1775
Especie *Gammarus mucronatus* Say, 1818

Suborden Amphilochidea Boeck, 1871
Infraorden Amphilochida Boeck, 1871
Parvorden Amphilochidira Boeck, 1871
Superfamilia Amphilochidea Boeck, 1871
Familia Amphilochidae Boeck, 1871
Género *Hourstonius* Hoover y Bousfield, 2001
Especie *Hourstonius laguna* (McKinney, 1978)

Orden Tanaidacea Dana, 1849
Suborden Tanaidomorpha Sieg, 1980
Superfamilia Paratanaoidea Lang, 1949
Familia Leptocheliidae Lang, 1973
Subfamilia Leptocheliinae Lang, 1973
Género *Chondrochelia* Gutu, 2016
Especie *Chondrochelia savignyi* (Kroyer, 1842)

Suborden Apseudomorpha Sieg, 1980
Superfamilia Apseudoidea Leach, 1814
Familia Parapseudidae Gutu, 1981
Subfamilia Parapseudinae Gutu, 2008
Género *Discapseudes* Bacescu & Gutu, 1975
Especie *Discapseudes holthuisi* Bacescu & Gutu, 1975

Orden Isopoda Latreille, 1817
Suborden Asellota Latreille, 1802
Superfamilia Janiroidea GO Sars, 1897
Familia Munnidae GO Sars, 1897
Género *Munna* Krøyer, 1839
Especie *Munna* sp.

Superorden Eucarida Calman, 1904
Orden Decapoda Latreille, 1802
Suborden Dendrobranchiata Spence Bate, 1888
Superfamilia Penaeoidea Rafinesque, 1815
Familia Penaeidae Rafinesque, 1815
Género *Farfantepenaeus* Burokovsky, 1997
Especie *Farfantepenaeus aztecus* (Ives, 1891)
Especie *Farfantepenaeus* sp.

Suborden Pleocyemata Burkenroad, 1963
Infraorden Caridea Dana, 1852
Superfamilia Alpheoidea Rafinesque, 1815
Familia Alpheidae Rafinesque, 1815
Género *Alpheus* Fabricius, 1798
Especie *Alpheus estuariensis* Christoffersen, 1984
Especie *Alpheus armillatus* Milne-Edwards, 1837
Especie *Alpheus bouvieri* Milne-Edwards, 1878
Especie *Alpheus heterochaelis* Say, 1818
Especie *Alpheus paracrinitus* Miers, 1881
Especie *Alpheus* sp.





Superfamilia Processoidea Ortmann, 1896
Familia Processidae Ortmann, 1896
Género *Ambidexter* Manning y Chace, 1971
Especie *Ambidexter symmetricus* Manning y Chace, 1971

Superfamilia Atyoidea De Haan, 1849
Familia Atyidae De Haan, 1849
Genero *Potimirim* Holthuis, 1954
Especie *Potimirim mexicana* (de Saussure, 1857)

Superfamilia Palaemonoidea Rafinesque, 1815
Familia Palaemonidae Rafinesque, 1815
Género *Cuapetes* Clark, 1919
Especie *Cuapetes americanus* (Kingsley, 1878)

Infraorden Anomura MacLeay, 1838
Superfamilia Paguroidea Latreille, 1802
Familia Diogenidae Ortmann, 1892
Género *Clibanarius* Dana, 1852
Especie *Clibanarius vittatus* (Bosc, 1802)

Infraorden Brachyura Latreille, 1802
Superfamilia Portunoidea Rafinesque, 1815
Familia Portunidae Rafinesque, 1815
Género *Callinectes* Stimpson, 1860
Especie *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896
Especie *Callinectes similis* Williams, 1966
Especie *Callinectes* sp.

Superfamilia Grapsoidea MacLeay, 1838
Familia Grapsidae MacLeay, 1838
Género *Pachygrapsus* Randall, 1840
Especie *Pachygrapsus gracilis* (Saussure, 1857)

Superfamilia Xanthoidea MacLeay, 1838
Familia Panopeidae Ortmann, 1892
Género *Eurypanopeus* Milne-Edwards, 1880
Especie *Eurypanopeus depressus* (Smith, 1869)





Riqueza y abundancia

La riqueza específica de la comunidad de crustáceos asociados a pastos marinos en la laguna de Sontecomapan fue de 26 especies. Los meses en los que se encontró la mayor riqueza fueron agosto de 2018 y noviembre de 2019, ambos con 21 especies, después agosto de 2019 con 16 especies y finalmente los meses con menor valor de riqueza fueron mayo y febrero de 2019 con 13 y 12 especies respectivamente (Fig. 6a).

En cuanto a la abundancia de los organismos asociados a pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, se obtuvo un total de 957 individuos en todo el muestreo. Agosto de 2019 fue el mes con mayor abundancia con 357 organismos (14.58%), seguido por el mes de noviembre de 2019 con 231 organismos (24.16%) y posteriormente febrero de 2019 con 173 (18.02%). Agosto de 2018 mostró menos individuos a comparación con el mismo mes, pero de un año después resultando con 140 organismos (37.18%). La menor abundancia se registró en el mes de mayo de 2019 con 58 organismos (6.04%) (Fig. 6b).





Figura 6. Estructura de la comunidad de crustáceos asociados a pastos marinos. a) Riqueza específica, b) Abundancia de organismos, en el muestreo total y desglosado en los meses de muestreo.





Se realizó un análisis de riqueza y abundancia (Fig. 7), de acuerdo con la siguiente agrupación de crustáceos: camarones, tanaidáceos, anfípodos, isópodos y cangrejos. En términos de riqueza se obtuvo que el grupo con mayor número de especies fue el de los camarones, se encontraron 11 especies, representando así el 42.3% de las especies totales encontradas, seguido por los anfípodos y cangrejos, ambos grupos con seis especies (23%), después los tanaidáceos con dos especies (7.7%) y por último los isópodos con una especie registrada y representando el 3.8%. En cuanto a la abundancia, se encontró que el grupo mejor representado fue el de los tanaidáceos con 327 organismos colectados, representando el 34% del total de organismos, seguido por los anfípodos con 292 individuos (30.4%), posteriormente los camarones con 223 (23.2%), los cangrejos con 118 (12.3%) y finalmente los isópodos con un solo organismo que representa el 0.1%.

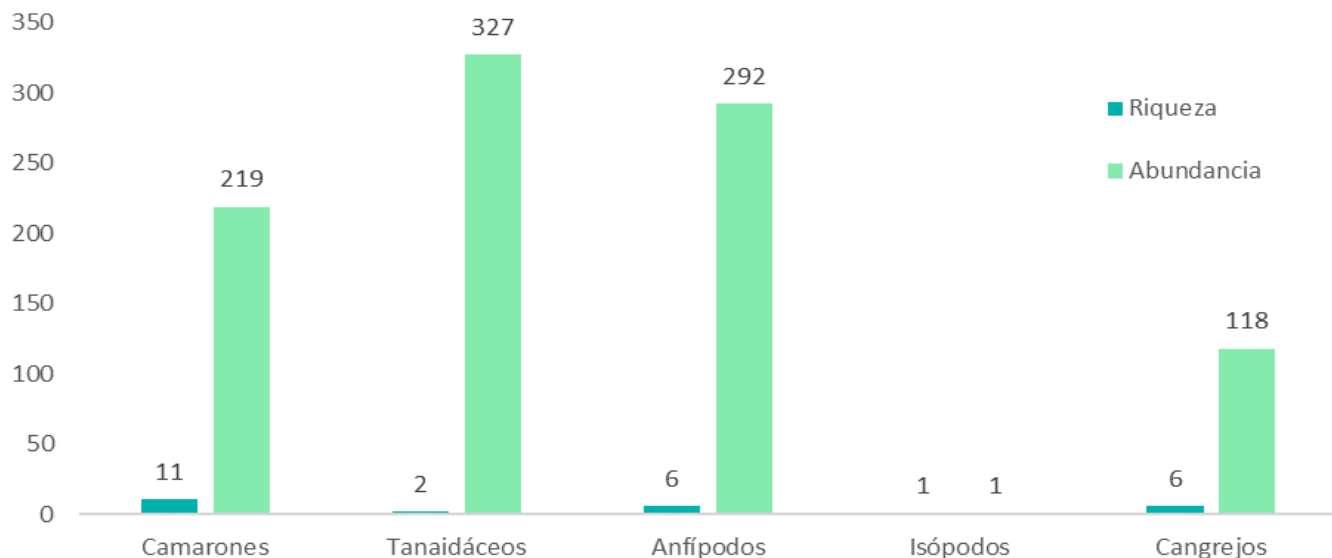


Figura 7. Riqueza y abundancia de los grupos de crustáceos encontrados en los pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.



Se realizó una comparación de la riqueza y abundancia entre los dos grupos de crustáceos encontrados en este estudio, peracáridos (Fig. 20) y decápodos (Fig. 21, 22 y 23). El grupo mejor representado en términos de riqueza fueron los decápodos, presentando 17 especies (67%) y por con siguiente la menor riqueza la presentaron los peracáridos con nueve especies (33%) (Fig. 8a). Por el contrario, en términos de abundancia (Fig. 8b) el grupo mejor representado fue el de los peracáridos con 620 organismos (65%), mientras que para los decápodos se registraron 337 organismos (35%).

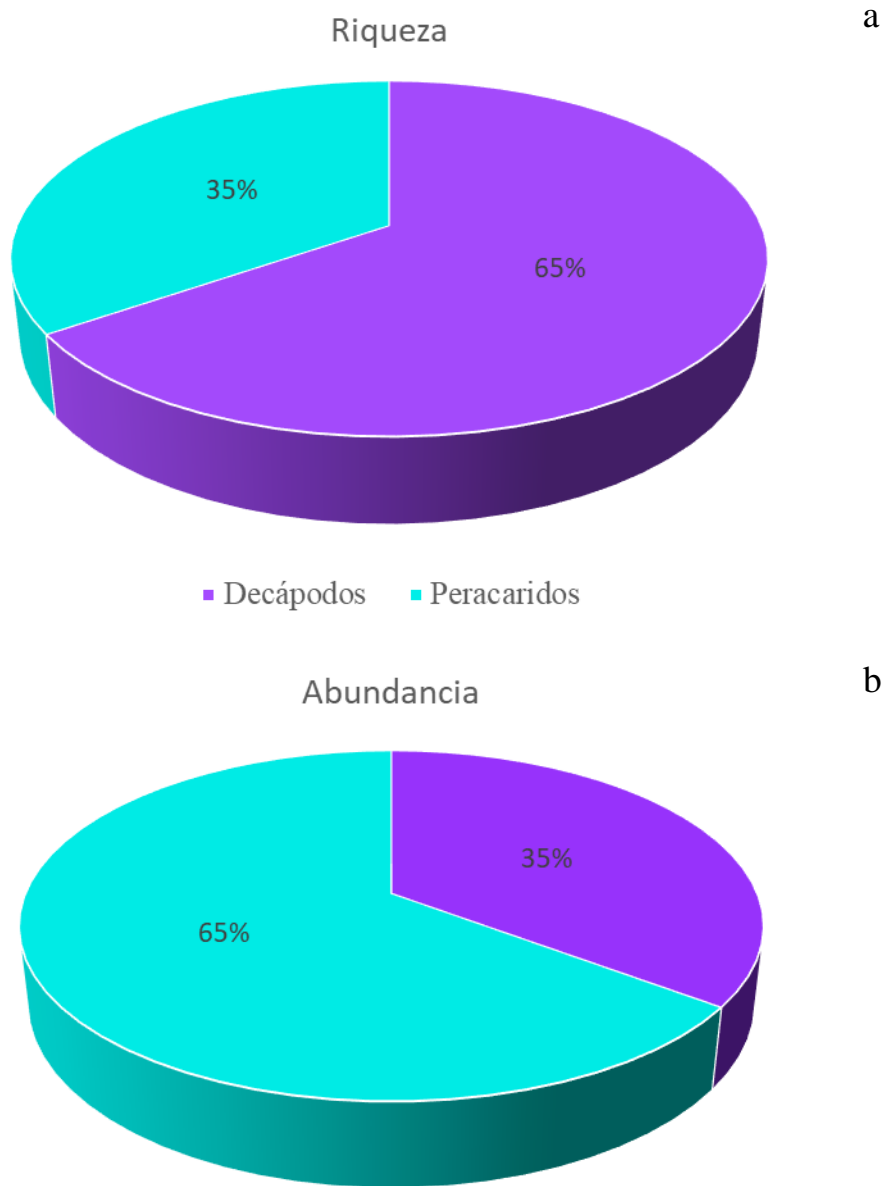


Figura 8. a) Riqueza y b) Abundancia de peracáridos en comparación con los decápodos encontrados en todos los muestreos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.





Diversidad de crustáceos

Los resultados de los índices ecológicos aplicados reflejan, de manera general, alta diversidad de crustáceos. El valor de diversidad de Shannon Wiener (H') para la comunidad de crustáceos asociados a pastos marinos de la laguna de Sontecomapan fue de $H'=3.42$. Se puede observar que el mayor valor de diversidad por el índice de Shannon Wiener ($H'=3.60$) se presentó en noviembre de 2019, seguido por agosto de 2018 ($H'=3.54$), mayo de 2019 con $H'=3.09$ y los valores de diversidad más bajos obtenidos fueron de $H'=2.27$ y $H'=2.14$ para febrero y agosto de 2019, respectivamente (Fig. 9a). De igual forma, el índice de diversidad de Margalef ($D\alpha$) mostró que el valor de diversidad para la comunidad de crustáceos fue alto ($D\alpha=3.93$), siendo el valor más alto en agosto de 2018 ($D\alpha=4.44$). Asimismo, el valor más bajo de diversidad se presentó en febrero de 2019 con un valor de $D\alpha=2.13$ (Fig. 9b).

Para la comunidad de crustáceos de todo el muestreo, el valor de dominancia, de acuerdo con índice de Simpson fue de $D=0.15$. El valor más alto de dominancia se presentó en agosto de 2019 con $D=0.42$, seguido por febrero con $D=0.34$. Los meses con los valores más bajos de dominancia fueron agosto de 2018 ($D=0.12$) y noviembre de 2019 ($D=0.11$) (Fig. 10a). En cuanto al índice de equitatividad de Pielou (J'), se observa que, para la comunidad de crustáceos, el valor fue de $J'=0.71$. El valor más alto de equitatividad ($J'=0.83$), se presentó en mayo de 2019 y noviembre de 2019, seguido por agosto de 2018 ($J'=0.79$). En febrero de 2018 se obtuvo $J'=0.63$ y la equitatividad más baja se presentó en agosto de 2019 ($J'=0.54$) (Fig. 10b).



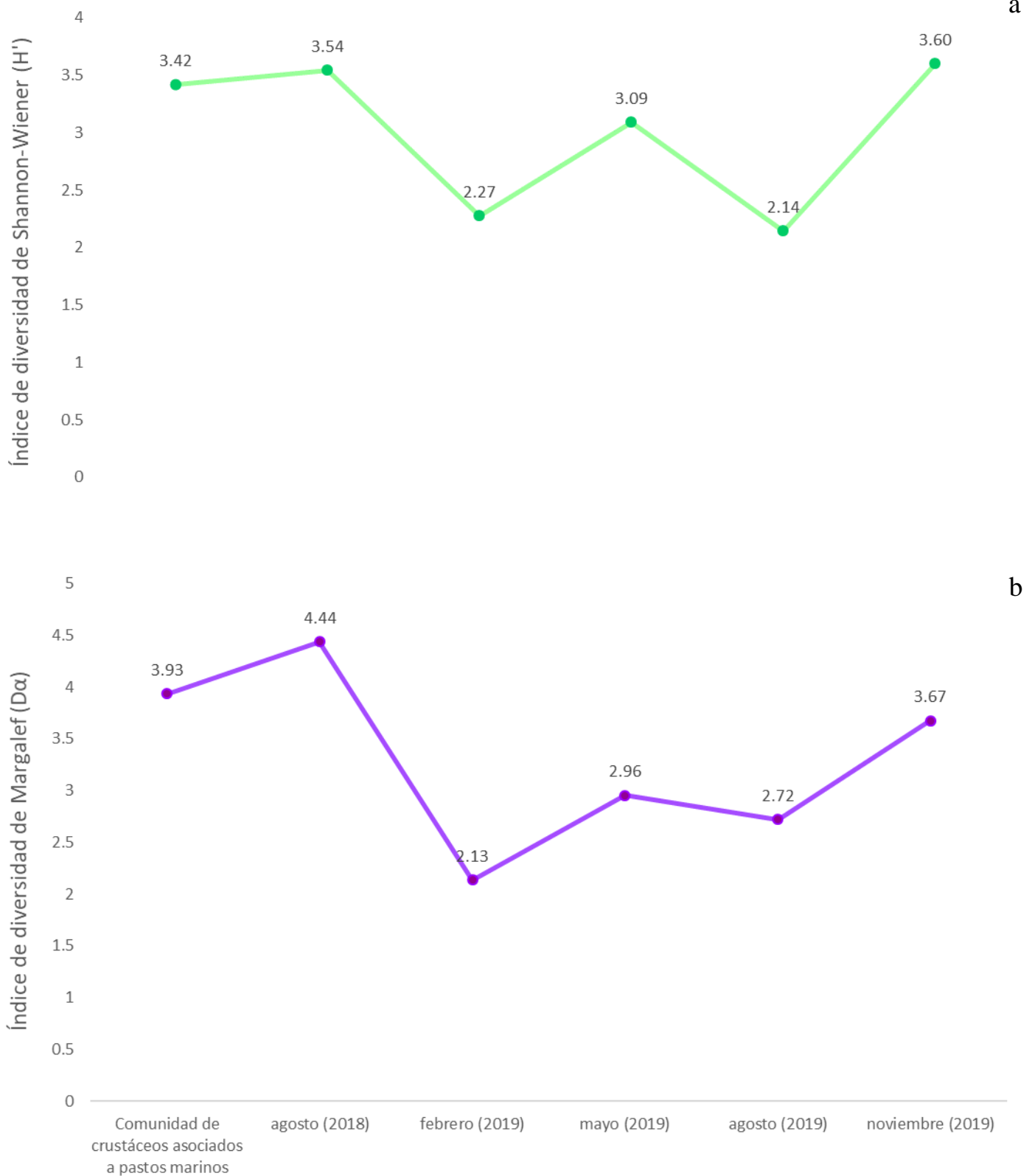
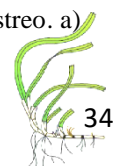


Figura 9. Índices ecológicos aplicados a toda la comunidad y el desglose por temporada de muestreo. a) Índice de diversidad de Shannon Wiener (H'), b) Índice de diversidad de Margalef ($D\alpha$).



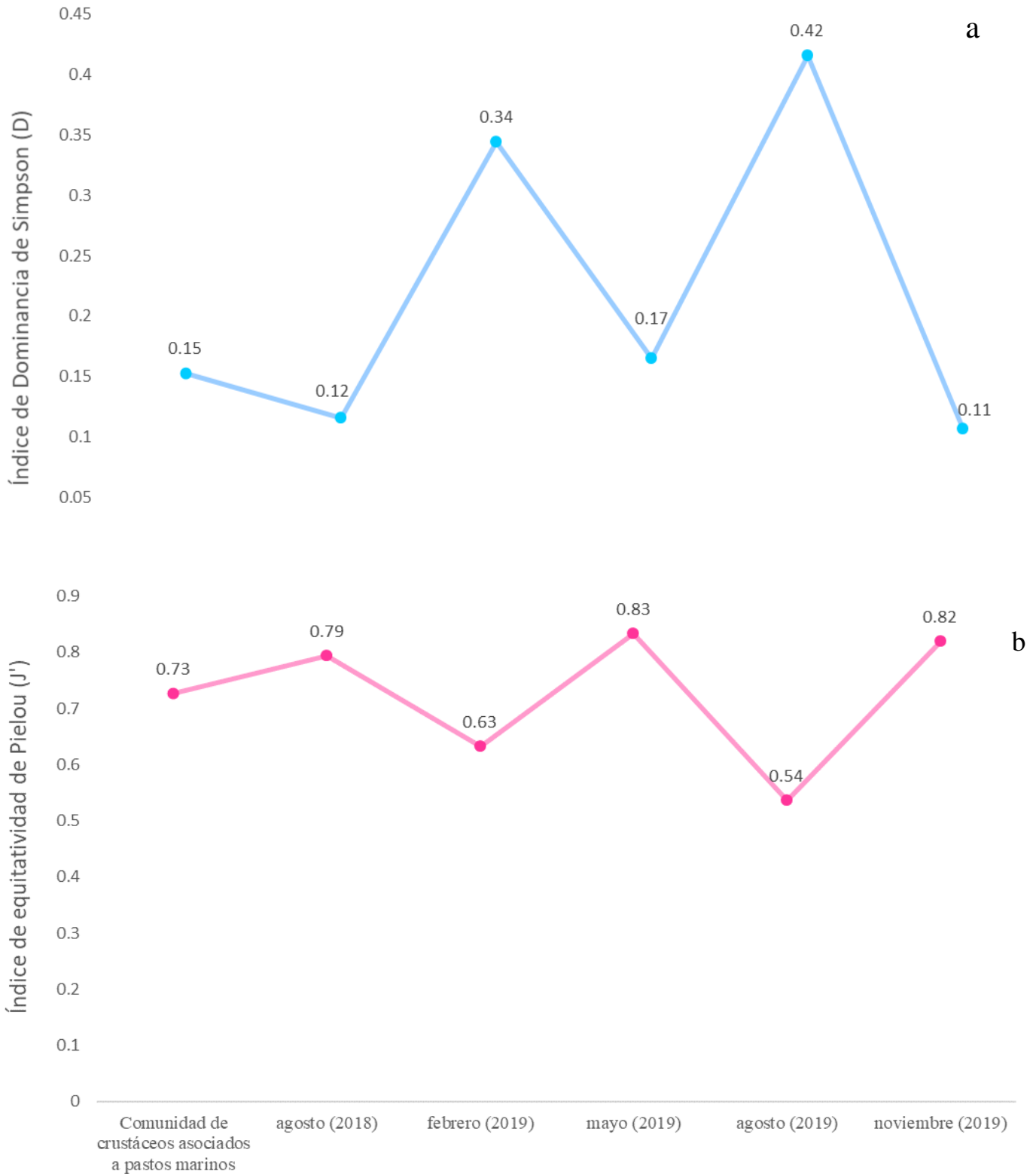


Figura 10. Índices ecológicos aplicados a toda la comunidad y el desglose por temporada de muestreo. a) Índice de dominancia de Simpson (D), b) Índice de equitatividad de Pielou (J').





Parámetros físicos y químicos del agua

En cuanto a los parámetros físicos y químicos (Fig. 13), el valor promedio de la salinidad en la zona de estudio en el primer mes de muestreo fue de 30 ppm y disminuyó a 22 ppm en febrero de 2018. En mayo de 2019, aumentó el valor a 35 ppm, siendo este el mes con el valor más alto registrado, y para noviembre de 2019, se percibió una disminución de la salinidad a 8.4 ppm. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua muestra valores fluctuantes a lo largo de los muestreos realizados, en agosto de 2018 se encontró 3.93 ml/L, lo cual corresponde al valor más bajo registrado. Para el mes de febrero de 2018, aumentó el oxígeno disuelto a 15.6 ml/L, siendo así el mes con el valor más alto. Para mayo de 2019, el valor volvió a descender, presentando un valor de 11.4 ml/L. Finalmente para noviembre de 2019, se detectó 7.6 ml/L. En cuanto a la temperatura, el valor promedio a lo largo de los muestreos realizados se mantuvo entre los 25 °C y 30 °C, siendo el mes de agosto el que presentó la temperatura más alta con 30.15 °C y febrero de 2019 la más baja con 26.4 °C. El pH se mantuvo prácticamente constante a lo largo de los meses de muestreo con un valor de 8, a excepción de noviembre de 2019 donde se halló un valor de 7.6.

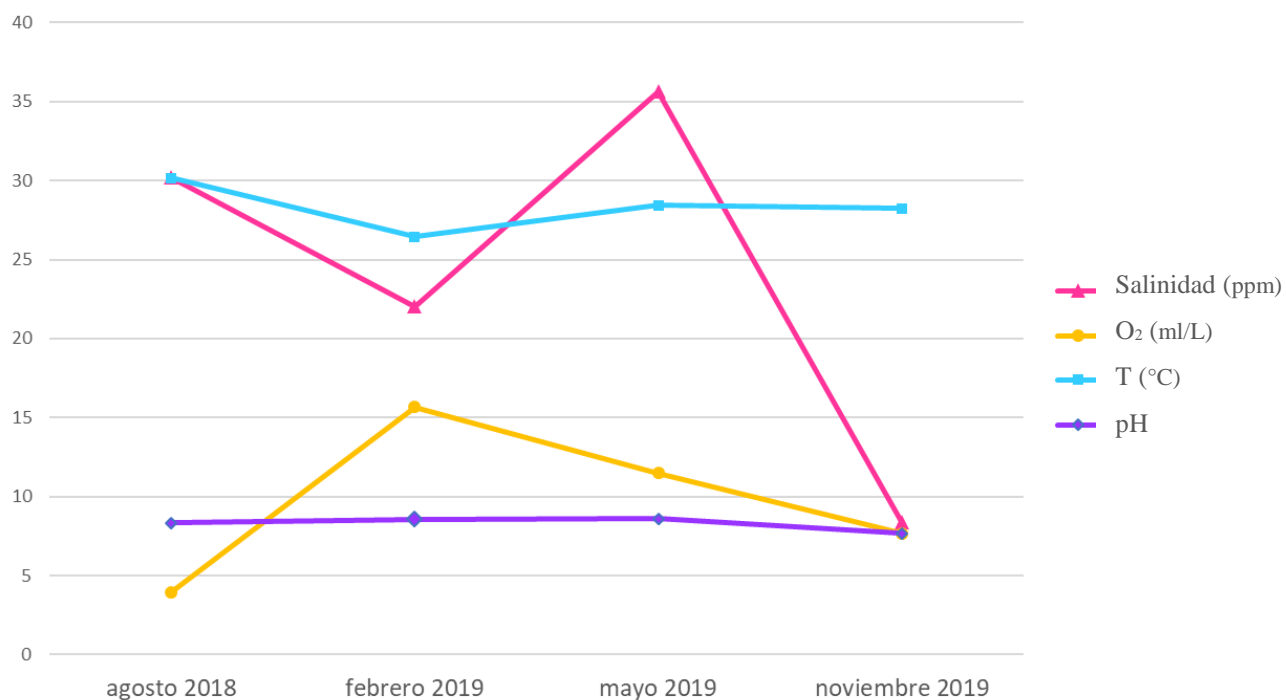


Figura 13. Variación de los parámetros físicos y químicos (salinidad, oxígeno disuelto, temperatura y pH) en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.





Variación estacional

Se realizó un registro de las especies de crustáceos presentes en cada mes de muestreo. Como se muestra en la tabla 2, se registraron 26 especies de crustáceos en el presente estudio, de las cuales nueve estuvieron presentes en todos los meses de muestreo: *Apocorophium louisianum*, *Cerapus bentophilus*, *Cymadusa compta*, *Chondrochelia savingyi*, *Discapseudes holthuisi*, *Farfantepenaeus aztecus*, *Cuapetes americanus*, *Clibanarius vittatus* y *Eurypanopeus depressus*. Representando así el 30.7% de las especies totales.

Tabla 2. Especies encontradas en los muestreos del presente trabajo, la “x” indica la presencia de la especie en los diferentes meses de muestreos y el sombreado resalta aquellas especies que se encontraron en todas las temporadas.

Lista de especies		agosto 2018	febrero 2019	mayo 2019	agosto 2019	noviembre 2019
Peraquíridos	<i>Apocorophium louisianum</i>	X	X	X	X	X
	<i>Grandidierella bonnieroides</i>	X	X		X	
	<i>Cerapus bentophilus</i>	X	X	X	X	X
	<i>Gammarus mucronatus</i>	X	X	X		
	<i>Cymadusa compta</i>	X	X	X	X	X
	<i>Houstonius laguna</i>	X			X	
	<i>Chondrochelia savingyi</i>	X	X	X	X	X
	<i>Discapseudes holthuisi</i>	X	X	X	X	X
	<i>Munna sp.</i>	X				
Decápodos	<i>Farfantepenaeus aztecus</i>	X	X	X	X	X
	<i>Farfantepenaeus sp.</i>				X	X
	<i>Alpheus estuariensis</i>	X				X
	<i>Alpheus armillatus</i>	X				X
	<i>Alpheus bouvieri</i>	X		X		
	<i>Alpheus heterochaelis</i>					X
	<i>Alpheus paracrinitus</i>					X
	<i>Alpheus sp.</i>	X				X
	<i>Cuapetes americanus</i>	X	X	X	X	X
	<i>Potimirim mexicana</i>					X
	<i>Ambidexter symmetricus</i>					X
	<i>Clibanarius vittatus</i>	X	X	X	X	X
	<i>Callinectes sapidus</i>	X		X	X	X
	<i>Callinectes similis</i>		X	X	X	X
	<i>Callinectes sp.</i>	X			X	X
	<i>Pachygrapsus gracilis</i>	X			X	X
	<i>Eurypanopeus depressus</i>	X	X	X	X	X



Estacionalidad y recambio de especies

Se registró la variación de la abundancia de las especies colectadas a lo largo de todo el muestreo. Se puede observar que todas las especies mostraron una variación importante en cuanto a sus valores de abundancia a lo largo de los meses de muestreo. En particular, en especies como *Cuapetes americanus*, *Chondrochelia savingyi* y *Cerapus bentophilus*, las fluctuaciones de abundancia fueron muy importantes dependiendo de la temporada de muestreo. Por otro lado, especies como *Clibanarius vittatus*, *Callinectes sapidus*, *Pachygrapsus gracilis* y *Eurypanopeus depressus*, mantuvieron sus abundancias relativamente estables a lo largo de todas las temporadas. También, resaltan especies como *Potimirim mexicana*, *Ambidexter symmetricus* y *Munna* sp., debido a que solo se registraron una sola vez (Fig. 14).

Análisis de rango-abundancia

En agosto de 2018 (temporada de lluvias), se observó que la especie más abundante fue el camarón peneido *Farfantepenaeus aztecus* con 32 organismos, seguida por *Cymadusa compta* y *Callinectes sapidus* ambas con 18 organismos (Fig. 15a). Si bien, esta temporada fue una de las más altas en cuanto a riqueza, se presentaron muchas especies con una baja abundancia, específicamente nueve: *Cuapetes americanus*, *Alpheus armillatus*, *A. bouvieri*, *A. heterochaelis*, *Alpheus* sp., *Hourstonius laguna*, *Cerapus bentophilus*, *Munna* sp. y *Clibanarius vittatus*, todas ellas con un solo organismo registrado. Esta temporada también resaltó debido a que todos los grupos de crustáceos (camarones, peracáridos y cangrejos), se encuentran bien representados en cuanto a riqueza y abundancia.

En febrero de 2019 (temporada de nortes), la riqueza encontrada se redujo considerablemente (12 especies) a la registrada en la temporada anterior (21 especies), pero en cuanto a la abundancia de peracáridos se obtuvieron valores más altos. Se detectó que la especie más abundante fue el anfípodo *Cerapus bentophilus* con 96 organismos, seguido del tanaidáceo *Chondrochelia savingyi* con 26 organismos. Mientras que las especies menos abundantes fueron *Cymadusa compta* y *Callinectes similis*, ambos con dos organismos





registrados (Fig. 15b). En este mes la riqueza y abundancias más altas las presentaron las especies de peracáridos.

Para mayo de 2019 (temporada de secas), se encontró a *Cymadusa compta* con 19 organismos como la especie más abundante, seguida por *Farfantepenaeus aztecus*. Las especies menos abundantes resultaron ser *Alpheus bouvieri*, *Chondrochelia savingyi* y *Clibanarius vittatus*, todas con un solo organismo registrado (Fig. 16a). En comparación con la temporada anterior, la riqueza registrada aumentó ligeramente, pero se mantuvieron las abundancias más altas registradas para las especies de peracáridos.

Para agosto de 2019 (temporada de lluvias), la especie *Chondrochelia savingyi* mostró, por mucho, la mayor abundancia con 224 organismos, seguida por *Farfantepenaeus aztecus* y *Cerapus bentophilus* con 35 y 33 organismos, respectivamente (Fig. 16b). Las abundancias más bajas en este mes las presentaron las especies *Farfantepenaeus* sp., *Hourstonius laguna* y *Discapseudes holthuisi*, todos con solo dos organismos registrados. Este mes resaltó por presentar las mayores abundancias de organismos en todos los meses de muestreo de este estudio.

Finalmente, en el muestreo realizado en noviembre de 2019, resultó ser otro mes que presentó la mayor riqueza, y también resaltó por una alta abundancia de todos los grupos de crustáceos (Fig. 17), siendo la especie con la mayor abundancia *Cuapetes americanus* con 42 organismos registrados, seguido por *C. bentophilus* con 30 y posteriormente *F. aztecus* y *C. savingyi*, ambas con 29 organismos. Las especies con la menor abundancia fueron *C. vittatus*, *C. compta*, *Potimirim mexicana* y *Ambidexter symmetricus*, todas con un solo organismo, seguidas por *C. sapidus* con dos organismos y *C. similis*, *A. armillatus* y *Alpheus* sp. con tres organismos encontrados. Además, esta temporada destacó por la presencia de tres especies de camarones carideos que no se encontraron en los muestreos anteriores: *Potimirim mexicana*, *Ambidexter symmetricus* y *Alpheus paracrinitus*.

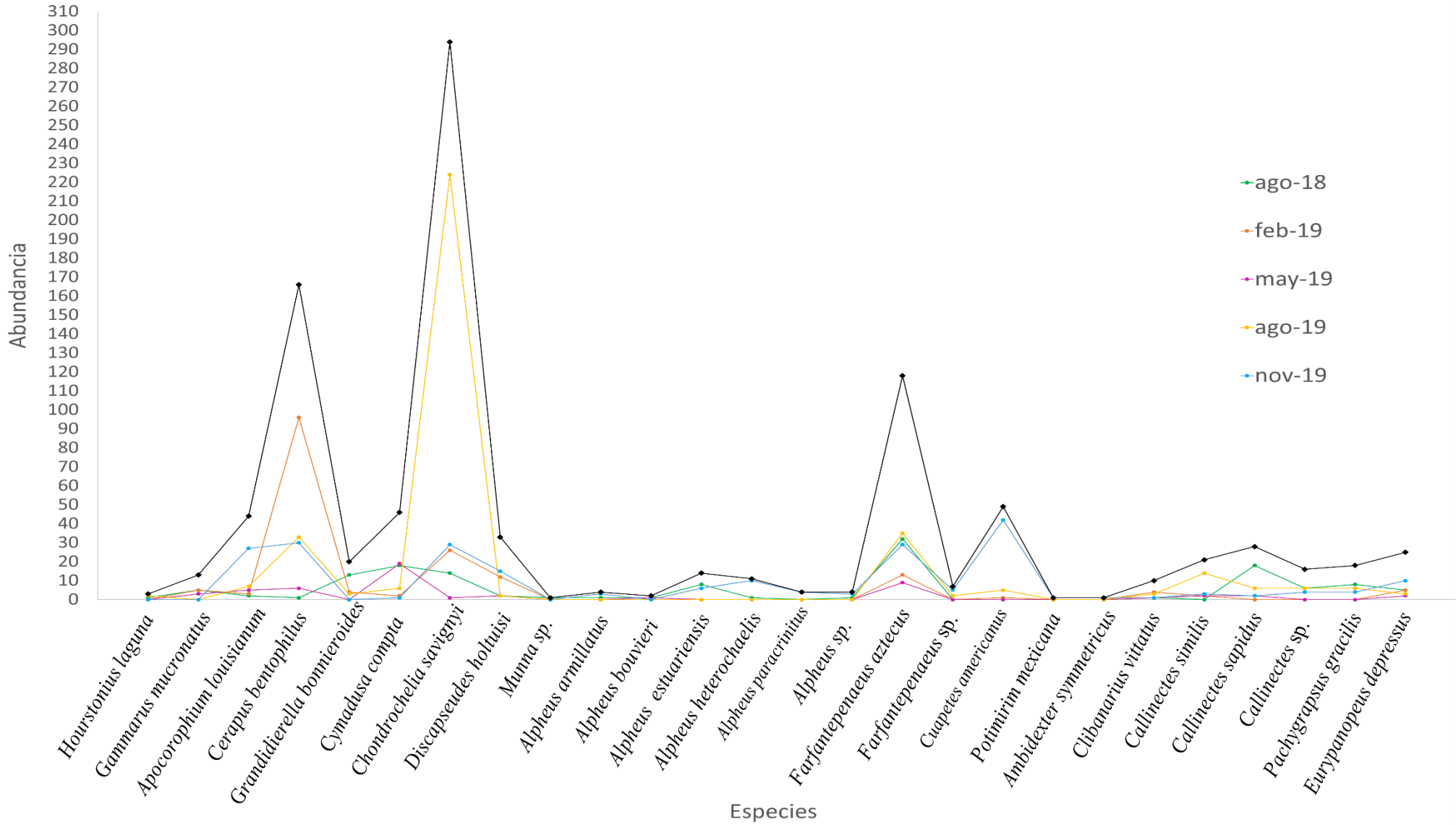


Figura 14. Variación estacional de la abundancia de las especies encontradas en los pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.



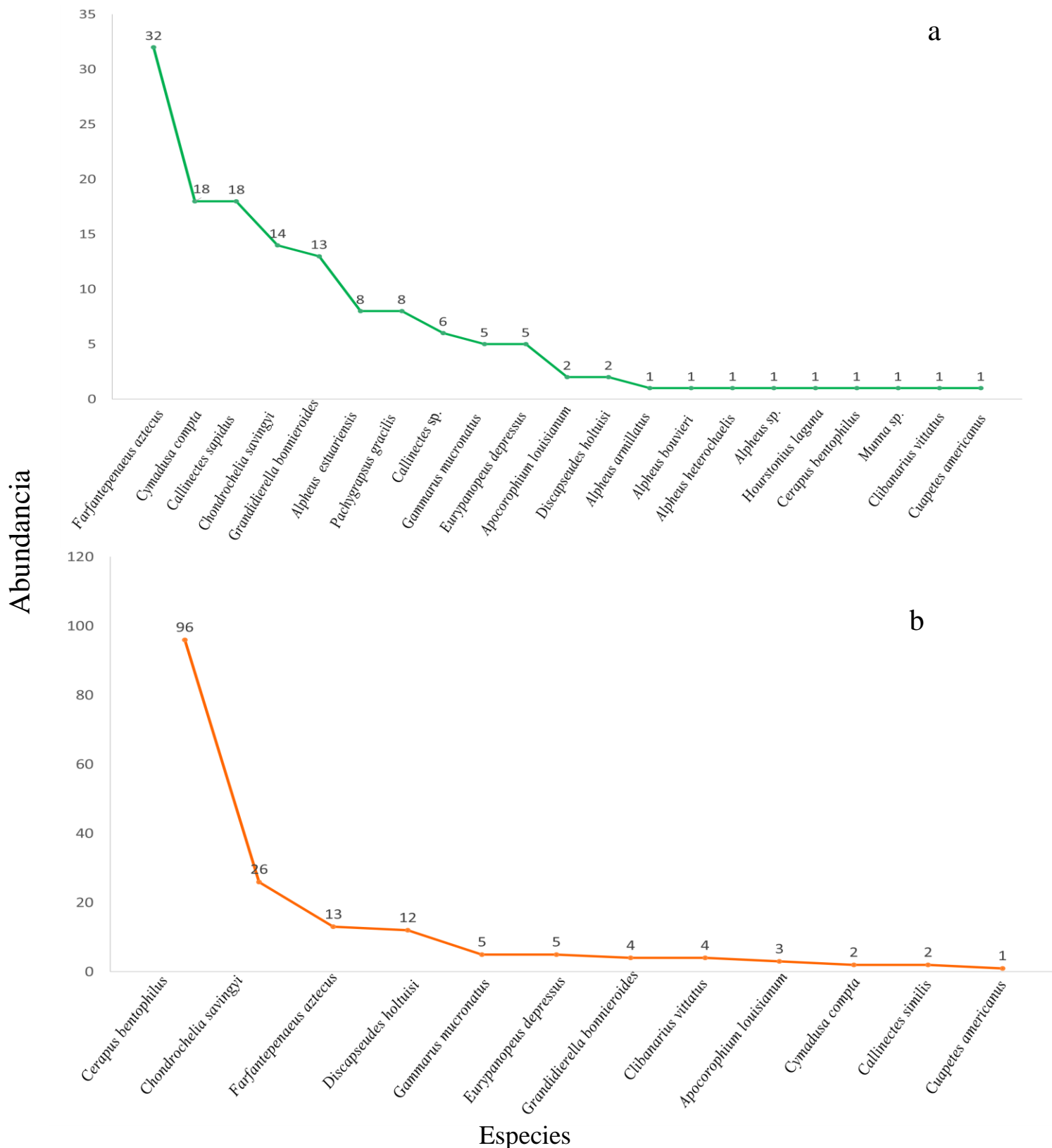


Figura 15. Rango-abundancia de las especies encontradas en cada uno de los meses de muestreo. a) Agosto de 2018, b) Febrero de 2019.

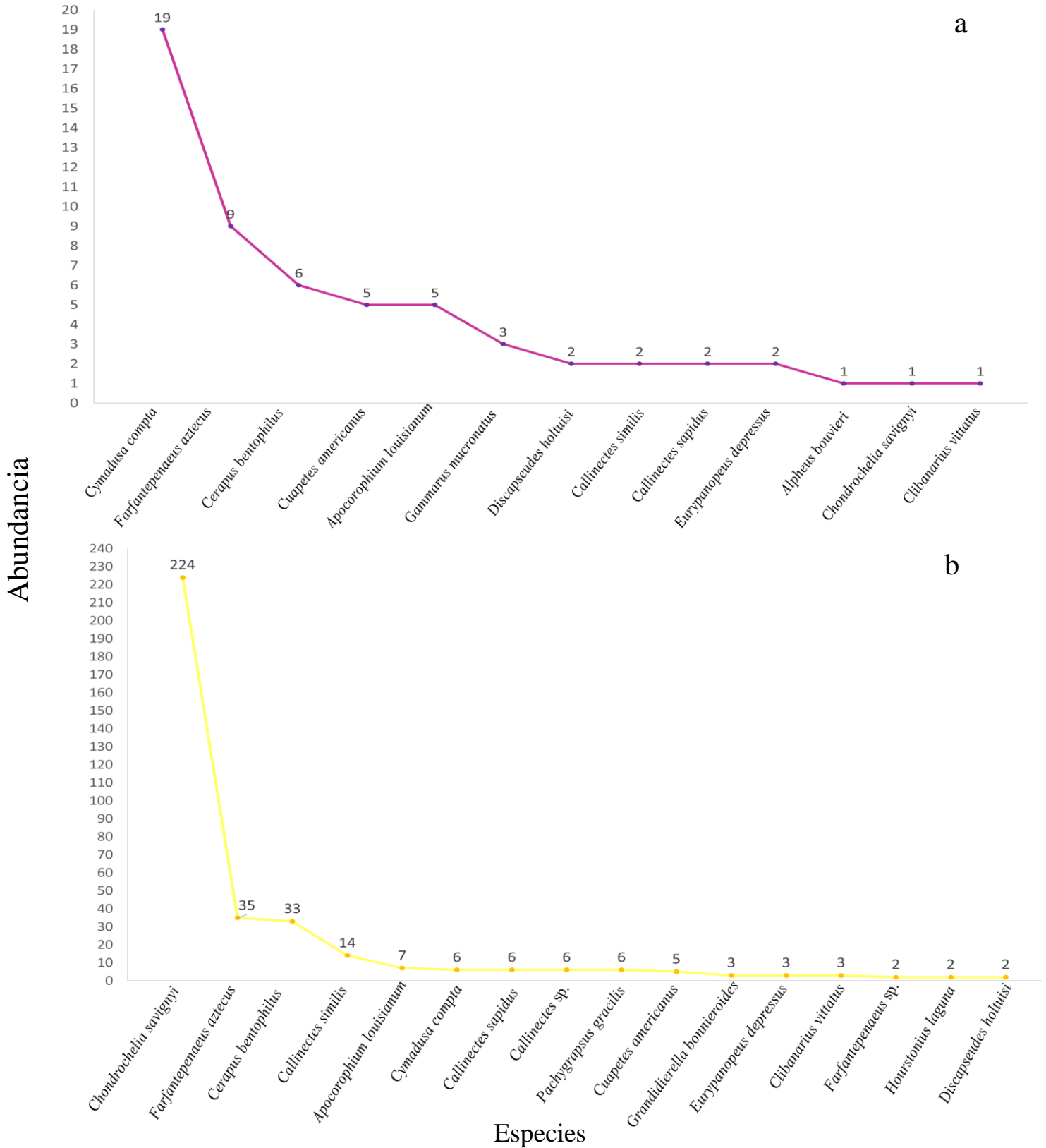


Figura 16. Rango-abundancia de las especies encontradas en cada uno de los meses de muestreo. a) Mayo de 2019, b) Agosto de 2019.



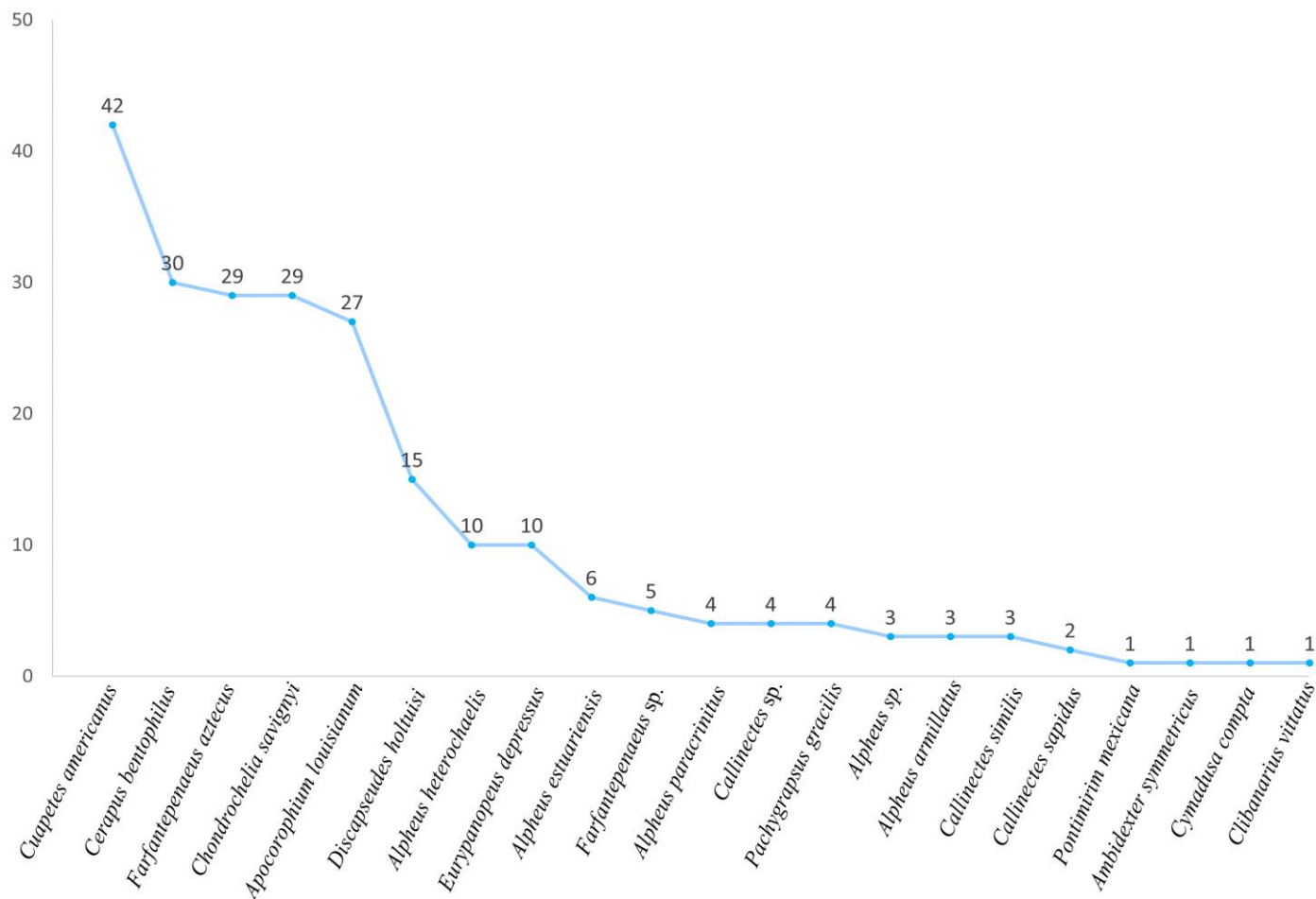


Figura 17. Rango-abundancia de las especies encontradas en noviembre de 2019.



Asociaciones de similitud

Para realizar la comparación entre la composición de la comunidad de crustáceos de acuerdo con los meses de muestreo, se calculó el índice de similitud de Sorensen. De manera general, la relación de similitud fue alta entre todos los meses de muestreo, ya que el 50% de las temporadas de tienen una semejanza de entre 75 y 100% y el resto entre 50 y 74%; cabe resaltar, que ninguna relación de similitud fue menor a $S= 0.5$. Los meses con mayor similitud fueron agosto de 2018 y agosto de 2019, con un valor de $S= 0.81$, seguidos por febrero de 2019 y mayo de 2019, con $S= 0.8$. Por otro lado, los meses con la menor similitud fueron agosto de 2018 y febrero de 2019, con $S= 0.66$, seguidos por febrero de 2019 y noviembre de 2019, con un valor de $S= 0.58$ (Fig. 11).

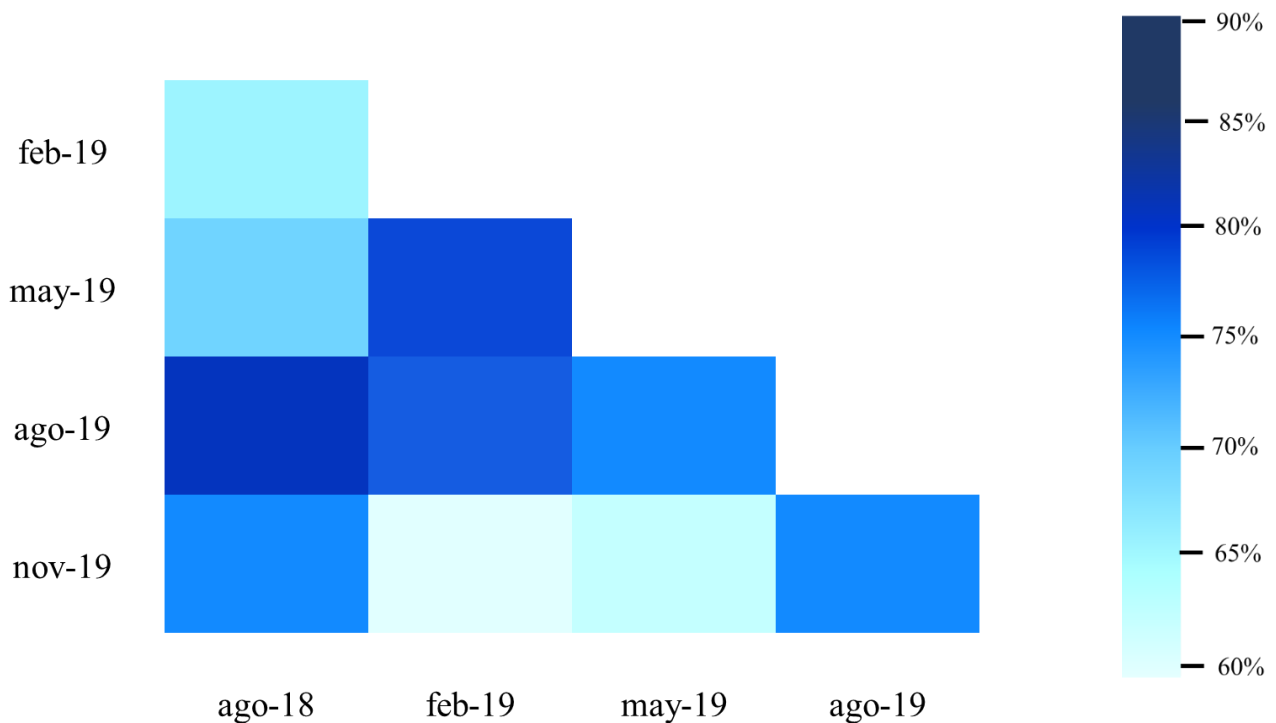


Figura 11. Mapa de calor que representa la similitud de la composición específica entre los meses de muestreo con base en los valores del índice de similitud de Sorensen, los valores del índice se encuentran presentados en porcentaje.



Análisis de Olmstead-Tukey

Se realizó la prueba de asociación Olmstead-Tukey para analizar a las especies con base en su frecuencia de aparición y abundancia, agrupando así a las especies en cuatro categorías: ocasionales, dominantes, raras y constantes. Se encontró que el mayor porcentaje estuvo representado por las especies raras, siendo el 59.25%, este porcentaje fue representado por un camarón peneido: *Farfantepenaeus* sp.; ocho especies de camarones carideos: *Potimirim mexicana*, *Ambidexter symmetricus*, *Alpheus armillatus*, *Alpheus bouvieri*, *Alpheus estuariensis*, *Alpheus heterochaelis*, *Alpheus paracrinitus* y *Alpheus* sp.; cuatro especies de peracáridos: *Hourstonius laguna*, *Gammarus mucronatus*, *Grandidierella bonnieroides* y *Munna* sp. y dos especies de cangrejos: *Callinectes* sp. y *Pachygrapsus gracilis*.

El 22.22% de las especies se clasificaron como dominantes, representando a este porcentaje se encontraron seis especies: *Farfantepenaeus aztecus*, *Chondrochelia savignyi*, *Cerapus bentophilus*, *Cymadusa compta*, *Apocorophium louisianum* y *Cuapetes americanus*. El 18.51% se consideraron como especies constantes, las especies que se agruparon en esta categoría fueron: *Discapseudes holthuisi*, *Callinectes sapidus*, *C. similis*, *Eurypanopeus depressus* y *Clibanarius vittatus*. No se obtuvieron especies catalogadas como ocasionales (Fig. 18).



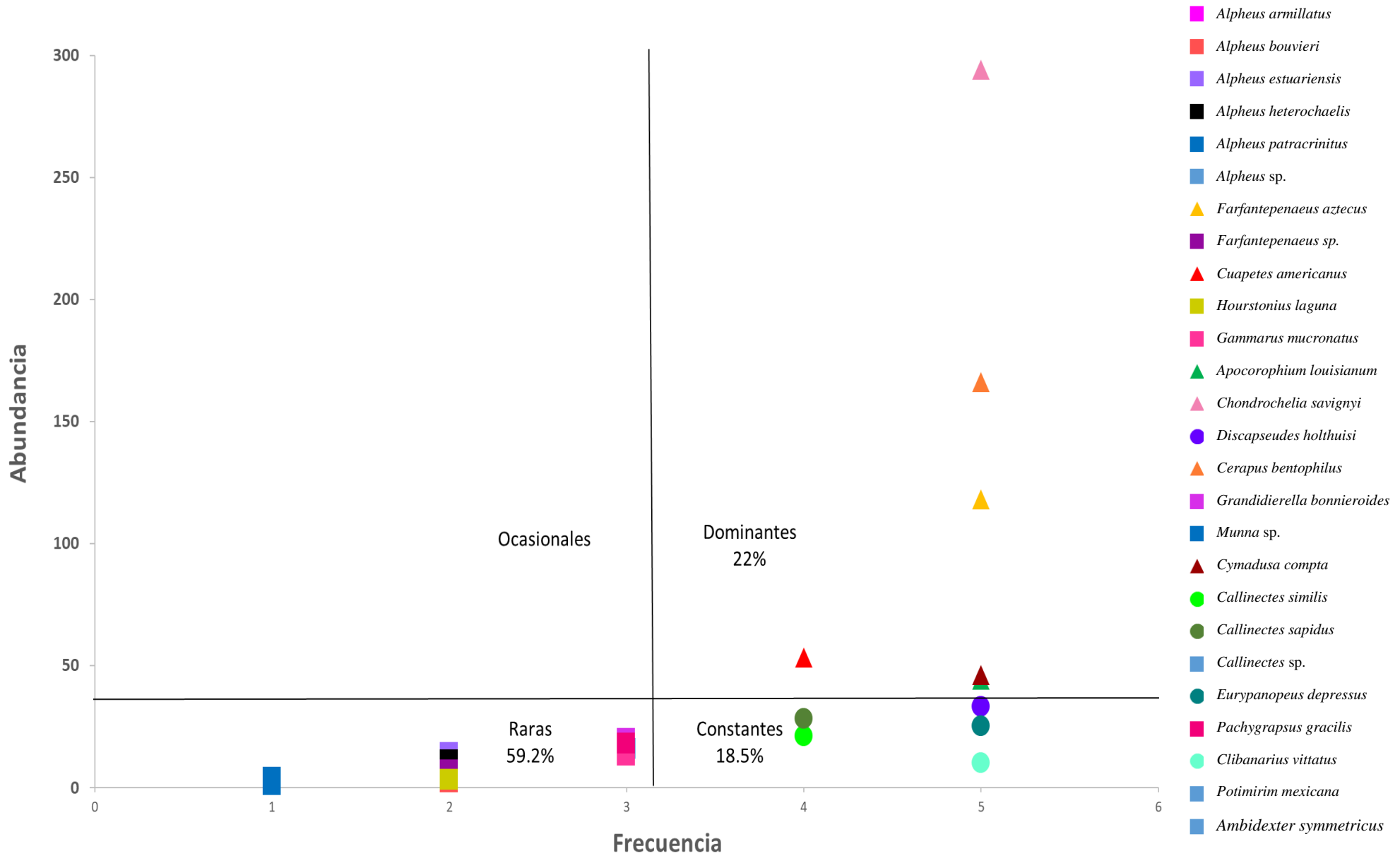


Figura 18. Diagrama de Olmstead-Tukey de las especies de crustáceos asociados a pastos marinos en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.





Curva de acumulación de especies

Para construir la curva de acumulación de especies (curva de rarefacción) de los muestreos de crustáceos, se calculó la riqueza esperada con el estimador no paramétrico Chao 2 (Fig. 12). Se observa que en el primer muestreo se registraron 16 especies, para el segundo muestreo se encontraron cinco especies más, en el tercer muestreo se aumentó el registro con tres especies más y para el cuarto muestreo se pudo aumentar la base de datos con una especie más y para el quinto y último muestreo se registró una más dando un total de 26 especies. La curva de acumulación de especies refleja que estaríamos cerca de las especies totales presentes en la laguna. De acuerdo con el estimador no paramétrico Chao 2 hay 28 especies presentes, de las cuales hemos colectado 26. Los resultados del presente estudio se acercan bastante a los aproximados arrojados por el estimador.

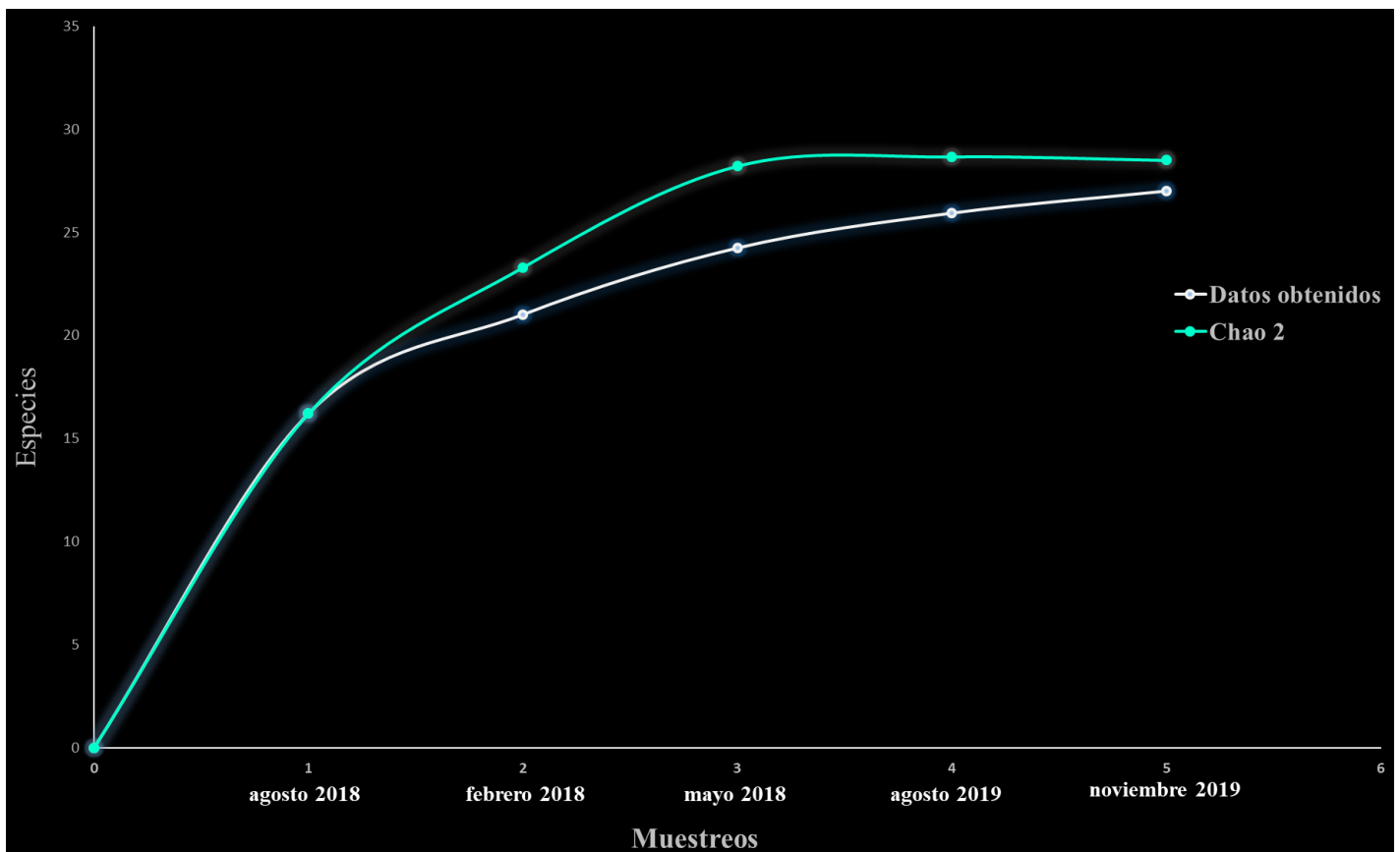


Figura 12. Curva de acumulación de especies para los cuatro muestreos realizados en la laguna de Sontecomapan, Veracruz. Se utilizaron los meses de muestreo como unidad de muestra y se calcularon los datos de riqueza esperada con el estimador no paramétrico Chao 2.



Comparación de la riqueza de crustáceos estuarinos

Son múltiples los estudios previos sobre ecología de crustáceos decápodos y peracáridos que se han realizado en ambientes estuarinos en México. Particularmente para el estado de Veracruz, los registros son amplios y constantes a lo largo de los años, por lo que en la tabla 3 se puede apreciar un panorama general de la riqueza de crustáceos estuarinos en el estado.

En este estudio se encontraron nueve especies de peracáridos y 17 especies de decápodos, si bien esta riqueza específica puede considerarse baja, esto solo representa a la diversidad de especies asociadas a la zona de pastos marinos. Se encontró que, en comparación con estudios previos (Tabla 3), la riqueza específica de crustáceos peracáridos asociados a pastos marinos es más alta que la registrada en la laguna de la Mancha y en la Cuenca baja del río Papaloapan, pero más baja que lo encontrado en el Sistema lagunar de Alvarado, la laguna Madre, la laguna de Tamiahua y la laguna de Mandinga. En cuanto a la riqueza específica de los decápodos, ésta resultó ser mayor que la presente en el Sistema lagunar de Mandinga y en la Cuenca baja del río Papaloapan y fue menor que la riqueza registrada para el Sistema Lagunar de Alvarado y la laguna de Tamiahua.

Aunque esto no representa a todos los humedales estuarinos presentes en el estado de Veracruz, los aquí mencionados son aquellos que han recibido la mayor atención en cuanto a estudios realizados y por lo tanto son los que se encuentran mejor documentados y con mayor número de especies registradas (Fig. 19). Si bien la riqueza específica de las localidades se revela baja, cabe resaltar que cada uno de los estudios analizados tuvieron sus limitaciones al estar enfocados solo a ciertas regiones, métodos de muestreo, ambientes o temporadas, por lo que estos datos son solo un reflejo que ayudará a comparar los objetivos planteados en la presente investigación.



Tabla 3. Comparación de la riqueza reportada de peracáridos y decápodos de acuerdo a diversos autores y años, en los principales ambientes estuarinos de Veracruz, México.

Autor, año	Localidad	Número de especies de peracáridos	Número de especies de decápodos
Reyes-Barragán y Salazar-Vallejo (1990) ¹	Laguna de La Mancha, Veracruz	2	
Raz-Guzmán <i>et al.</i> (1992) ²	Laguna de Alvarado, Veracruz		19
Raz-Guzmán y De la Lanza (1996) ³	Laguna de Tamiahua, Veracruz		23
López-Santana (1999) ⁴	Sistema lagunar de Alvarado, Veracruz		19
Winfield (1999) ⁵	Sistema lagunar de Alvarado, Veracruz	11	
Cházaro-Olvera <i>et al.</i> (2002) ⁶	Laguna Camaronera, Alvarado, Veracruz.	15	
Ramírez-Rojas (2007) ⁷	Sistema lagunar de Alvarado, Veracruz	19	6
Winfield <i>et al.</i> (2007) ⁸	Sistema lagunar de Alvarado, Veracruz	11	
Miranda-Vidal <i>et al.</i> (2016) ⁹	Cuenca baja del río Papaloapan, Veracruz	4	9
Raz-Guzmán y Soto (2017) ¹⁰	Laguna Madre y la Laguna de Tamiahua, Veracruz.	19	
Flores-Medina (2018) ¹¹	Laguna de Sontecomapan, Veracruz		43
	Laguna de Alvarado, Veracruz		25
	Laguna de Tamiahua, Veracruz		44
Rodríguez-Varela <i>et al.</i> (2019) ¹²	Sistema lagunar Mandinga, Veracruz	10	10
Moran-Faustinos (esta tesis) (2020) ¹³	Zona de pastos marinos	9	17
	Laguna de Sontecomapan, Veracruz		

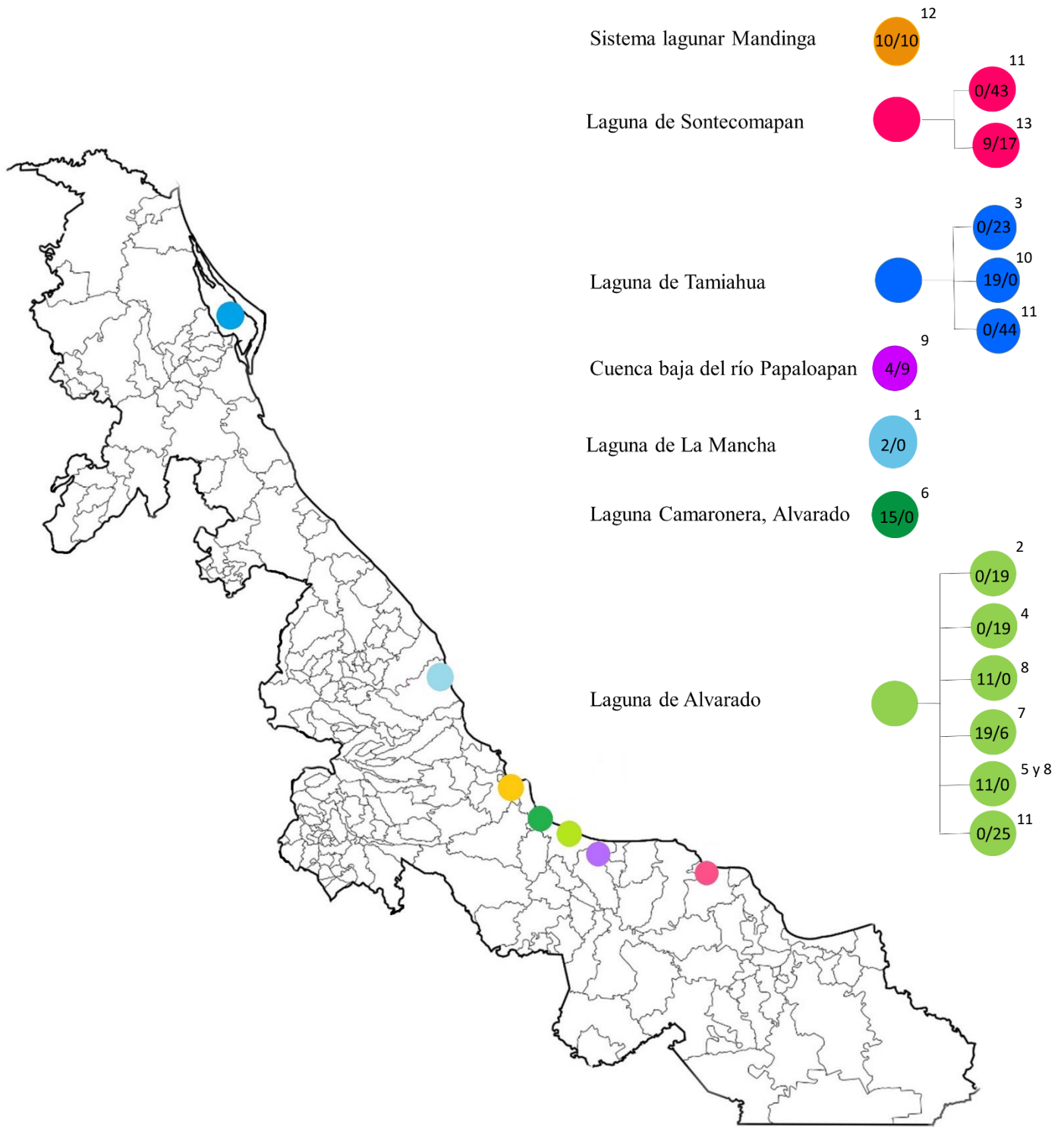


Figura 19. Ubicación de las principales lagunas estuarinas del estado de Veracruz con la indicación de la riqueza de especies que poseen (peracáridos/decápodos) de acuerdo con los estudios previos referidos en la Tabla 3.



DISCUSIÓN

La zona en la que se encuentran los pastos de este estudio es en la orilla contraria a la boca de la laguna, en este sitio la profundidad es baja, no tiene descarga directa de alguno de los ríos o arroyos que alimentan a la laguna, por lo que no es un ambiente turbio y permite el paso de la luz a la columna de agua. Aunque probablemente no sea la única zona de la laguna en la que se encuentren los pastos, su distribución debe variar dependiendo de la temporada y las condiciones ambientales. Sotelo-Giner (2015) menciona que, existen cambios de la biomasa y distribución de los pastos marinos en las diferentes temporadas, los cuales varían dependiendo de diversos factores estresantes, ya sean antropogénicos (dragado, eutrofización, aguas residuales, ostricultura y pesca) o naturales (tipo de sustrato de la laguna, arrastres de materia orgánica, precipitación, régimen de mareas, viento y desastres naturales).

Identificación de ejemplares y nuevos registros

Los ejemplares reportados como *Alpheus* sp. y *Farfantepenaeus* sp. no fueron identificados a nivel de especie debido al mal estado en el que se encontraron los organismos, ya que a estos ejemplares les faltaban apéndices y estructuras de importancia taxonómica (rostro, quelas, telson, urópodos). En el caso de ejemplares reportados como *Callinectes* sp. no se pudo diferenciar entre las especies presentes en la laguna de Sontecomapan debido a que se trataba de organismos juveniles, a los cuales aún no se les diferenciaban características clave para la determinación a nivel específico (dientes mesiales en la frente del caparazón y gonópodos) para su identificación taxonómica.

Se presentan registro de especies poco comunes o no citadas para la laguna de Sontecomapan como *Ambidexter symmetricus*, *Potimirim mexicana* y *Cuapetes americanus*, su presencia en la laguna de Sontecomapan es extraordinaria y constituyen registros nuevos.

Ambidexter symmetricus (Fig. 21d) es una especie que se distribuye en el océano Atlántico Occidental y en el océano Pacífico Central; En México ha sido reportado en el Pacífico dentro del Golfo de California (Ríos y Carvacho, 1982) y en las aguas del Atlántico en las costas de Tamaulipas (Manning y Chace, 1971) y se insinuó su presencia en Veracruz (Álvarez *et al.*, 1999). *P. mexicana* se distribuye en el país en el Golfo de México, desde



Tamaulipas en río Soto La Marina, hasta Tabasco con presencia en el río Grijalva (Villalobos, 1959). En el estado de Veracruz, y específicamente en la región de Los Tuxtlas, su presencia se encuentra registrada para el río máquinas (Bortolini-Rosales *et al.*, 2010).

Cuapetes americanus (Fig. 21b) es una de las especies que resaltan más por su presencia inusual dentro de la laguna, ya que a pesar de que en México ha sido mencionada en el sureste del Golfo de México, estos reportes se han generado principalmente en arrecifes (Hernández-Aguilera *et al.*, 1996; Álvarez *et al.*, 1999; Hermoso-Salazar *et al.*, 2019). Así mismo, la presencia de las especies del género *Alpheus* (Fig. 22) es interesante ya que también son habitantes comunes de arrecifes de coral y no se encontró registro de estas especies en zonas marinas aledañas a la laguna de Sontecomapan, excepto de *Alpheus bouvieri*, la cual, además de estar registrada para los arrecifes de Veracruz, se ha encontrado presente en la playa rocosa de Montepío (Álvarez *et al.*, 1999).

En cuanto a los peracáridos, las especies *H. laguna*, *C. bentophilus*, *A. louisianum*, *G. bonnieroides*, *G. mucronatus*, *C. compta*, *C. savingyi* y *Munna* sp. también son nuevos registros para la laguna de Sontecomapan (Fig. 20). Estas especies ya han sido reportadas dentro de praderas de *R. maritima* o asociadas a otras especies de pastos marinos dentro de sistemas lagunares en el Golfo de México (Winfield, 1999, Cházaro-Olvera *et al.*, 2002; Winfield *et al.*, 2007), así mismo, han sido registradas en el sistema arrecifal veracruzano y lobos tuxpan (Hermoso-Salazar *et al.*, 2019).

La capacidad de estas especies para poder habitar arrecifes de coral y estar dentro de la laguna puede deberse a la ubicación de los pastos marinos, los cuales se encuentran justo en la boca de comunicación con el mar. Esto permite una constante mezcla de aguas marinas con aguas continentales, y probablemente la influencia de las aguas marinas sea alta en esta zona (Yáñez-Arancibia, 1977), de manera que se mantiene una condición salobre en las que las especies pueden estar sobreviviendo dentro de los pastos marinos de la laguna. Estos resultados, además, reflejan la adaptación eurihalina de estas especies, los que les permite presentar esta amplia distribución.



Riqueza y abundancia de crustáceos

De acuerdo con los resultados obtenidos, es claro que existe una variación de la riqueza y abundancia de los organismos. Esto tiene sentido si se tiene en cuenta la zona de estudio, la cual, al estar en la conexión de la laguna con el mar, presenta una dinámica particular de los parámetros fisicoquímicos que influyen en los valores de abundancia y diversidad de los crustáceos.

El mayor valor de riqueza específica de los crustáceos se presentó en agosto de 2018, durante la época de lluvias, siguiéndole noviembre de 2019 que corresponde a la época de nortes. Se ha visto que las condiciones propias de la época de lluvias y nortes pueden presentar una ventaja para los organismos (Reyes-Barragán y Salazar-Vallejo, 1990; Ramírez-Rojas, 2007). Estas condiciones abren espacios de colonización y disminuyen algunos competidores de recursos o depredadores, lo cual favorecería el asentamiento y reclutamiento organismos a la población y, por lo tanto, el incremento de las poblaciones de crustáceos asociados.

Por otro lado, la riqueza más baja se presentó en febrero de 2019, lo que corresponde a la época final de nortes; esto podría deberse a que, al ser el final de una temporada climática con condiciones drásticas, solo permanecen aquellas especies más tolerantes a los cambios climáticos, donde la competencia por los recursos disponibles puede ser alta. Además, particularmente en las lagunas costeras, la variación estacional y los patrones de distribución temporal de las especies, se ven influenciados por otros factores como el reclutamiento de individuos y los diferentes eventos reproductivos (Ortiz-León *et al.*, 2007). Así como el tiempo de eclosión de las larvas, el tiempo de dispersión, la disponibilidad del alimento y la disponibilidad de sustrato (Wong-Ala *et al.*, 2018).

De igual forma, la época en la cual se encontró la mayor abundancia de organismos fue en la época de lluvias (agosto de 2019), esto podría explicarse por las variaciones que presentan las condiciones ambientales durante esta temporada climática, las cuales son: aumento de la precipitación, disminución de la salinidad y aumento en el flujo de las masas de aguas epicontinentales, las cuales transportan materia orgánica hacia la laguna, lo que puede causar un aumento en la biomasa de *R. maritima*. De acuerdo con algunos autores



(López-Rivas, 1994; Winfield, 1999; Casset *et al.*, 2001; Winfield *et al.*, 2007), esto se encuentra significativamente correlacionado con el aumento de la abundancia de los crustáceos asociados, debido a que las praderas de pastos marinos generan un ambiente tridimensional que aporta una mayor complejidad estructural dentro de la columna de agua.

Esta complejidad estructural en el ambiente se puede traducir en una mayor cantidad de microhábitats, por lo que entre mayor sea la biomasa de los pastos marinos mayor será el área que cuente con oportunidades de refugio y asentamiento para los organismos (López-Rivas, 1994). Una situación así tendría efectos en las comunidades de crustáceos asociados ya que, al existir una mayor cantidad de recursos para explotar, los crustáceos tendrían oportunidad para aumentar la densidad poblacional. Si, por el contrario, la biomasa de los pastos marinos disminuyera, los recursos y oportunidades que estos proveen a los organismos asociados también se reducirían y resultaría en una mayor competencia intra e interespecífica y la densidad de las poblaciones se vería afectada. Cabe resaltar, que el aumento de diversidad y abundancia de crustáceos en época de lluvias al parecer no es un fenómeno exclusivo que ocurre en la boca de comunicación de la laguna, ya que estos mismos resultados han sido reportados anteriormente para toda la laguna de Sontecomapan por autores como Miranda-Vidal (2016).

La abundancia más baja de organismos se encontró en el mes de mayo de 2019, que corresponde a la época de secas. Similar a lo reportado por Mier y Reyes *et al.* (1997) quienes registraron menor densidad y biomasa del peneido *Farfantepenaeus duorarum* asociado a vegetación acuática estuarina en la época de secas. Lo cual se debe a que esta temporada trae consigo un aumento de la temperatura, aumento de la evaporación del agua y por consiguiente un aumento en la salinidad y disminución de la profundidad de la columna de agua. Con base en esto, podría considerarse que, para los organismos asociados a pastos marinos, las condiciones en época de secas no son favorables a los organismos para aumentar sus poblaciones, aunque se necesitarían más datos para poder generalizar esta afirmación.

Estos resultados reflejan la dinámica poblacional del sistema, ya que se muestra que existe una riqueza y abundancia de organismos asociada o directamente relacionada a la estacionalidad. Un hecho documentado para lagunas costeras como la laguna de Sontecomapan, donde las condiciones pueden variar en cuestión de días, semanas, meses y



temporadas y esto abre oportunidades para la colonización de diferentes organismos y que se genere un recambio de especies constante (Chincholla-Rey, 1984).

En cuanto al análisis por grupos de decápodos y peracáridos, en términos de riqueza, los decápodos resaltaron con el 60% del total de especies encontradas. De acuerdo con Hendrickx (1995), en los camarones, específicamente peneidos, las hembras desovan cerca de las costas y las postlarvas suelen invadir las aguas salobres adentrándose en lagunas costeras, buscando refugio para desarrollarse y madurar hasta ser juveniles. Estas características son comunes en otros grupos de decápodos encontrados en este estudio, como los cangrejos *C. sapidus* y *C. similis* (Fig. 23). Por lo que, de acuerdo con los antes mencionado, muchas especies de decápodos se están presentando en los pastos marinos debido a que estos sitios representan una buena opción para encontrar refugio y desarrollarse hasta ser juveniles o adultos y migrar hacia otras zonas de la laguna o hacia el mar.

Los peracáridos resultaron con valores más bajos de riqueza en comparación con los decápodos, representando el 35% de todas las especies encontradas. En este estudio se reportan nueve especies de peracáridos asociados a pastos marinos, de las cuales cuatro se presentaron en todos los muestreos realizados: *Apocorophium louisianum*, *Cerapus bentophilus*, *Condrochelia savingyi* y *Cymadusa compta*. Similar a lo reportado por Winfield (1999) para el sistema lagunar de Alvarado en donde encontró 11 especies asociadas a los pastos marinos y donde también reportó a *A. louisianum* como una especie dominante en el sistema.

En cuanto a la abundancia, el grupo de los peracáridos dominó en el sistema, superando por más del doble la cantidad de decápodos encontrados. Esto puede deberse a que los peracáridos son organismos que presentan varias estrategias reproductivas para asegurar el éxito de la descendencia. Se han sintetizado tres estrategias: 1) especies que presentan un solo evento reproductivo a lo largo de su vida (semélparos), 2) especies con la capacidad de reproducirse en dos eventos (bivoltinos) y 3) aquellas con varios eventos reproductivos (iteróparos). Esta variedad de estrategias ha posicionado a los peracáridos como uno de los grupos de crustáceos más diverso y con las mayores abundancias en los ecosistemas. Por otra parte, el desarrollo embrionario es directo y epimórfico, por lo que no



hay estadios larvales de forma libre donde pueden llegar a ser vulnerables ante los depredadores y ante el ambiente (Winfield y Ortiz, 2003).

Por otro lado, otras características como la alimentación que va desde especies que son detritívoras, herbívoros exclusivos, bacterívoros, filtradores, necrófagos, hasta depredadores y parásitos, hacen que los peracáridos sean un grupo altamente exitoso y adaptado para prosperar en prácticamente cualquier ambiente. (Winfield y Ortiz, 2003, 2011). En cuanto a la densidad de peracáridos, la abundancia más alta se registró en agosto de 2019, los datos son similares a los reportados por Winfield (1999) para el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz.

El hecho de que los decápodos sean el grupo menos abundante, puede deberse a que los ejemplares que se han encontrado en la zona de pastos marinos son organismos juveniles, lo que podría indicarnos que este grupo solo está de paso en esta zona. Se sabe que la reproducción de las jaibas *C. sapidus*, por ejemplo, se lleva a cabo en zonas de baja salinidad y migran a las zonas de mayor salinidad como la desembocadura de la laguna, para desovar (Churchill, 1919; Van Engel, 1958). Este comportamiento produce, que los organismos juveniles pueden estar encontrando refugio en los pastos marinos hasta que son maduros y posteriormente migren a aguas más salobres o a otras zonas de la laguna más profundas, por lo que en la zona de pastos marinos no estaríamos encontrando representadas todas las generaciones que conforman a la población.

Por otro lado, el hecho de que la zona donde se encuentran los pastos marinos estudiados se encuentre en la boca de comunicación de la laguna con el mar, influye con los valores de abundancia de los decápodos encontrados, debido al ciclo biológico particular de los organismos, el cual no solo varía por temporadas de reproducción y desove, si no también varía la penetración de las postlarvas hacia adentro de la laguna y el tiempo que permanecen estas en el agua salobre (Hendrickx, 1995). Además, los decápodos son un recurso económico que es altamente aprovechado y explotado en la laguna de Sontecomapan a diferencia de los otros grupos y esto también podría estar reduciendo el número de individuos que se encontraron en la zona.



Diversidad de crustáceos

Los resultados obtenidos por los índices de diversidad y dominancia reflejan que la comunidad de crustáceos asociada a los pastos marinos presentes en la boca de comunicación de la laguna de Sontecomapan es altamente dinámica, ya que a pesar de que solo hay un par de meses entre la realización de los muestreos, existe una variación en la composición de la comunidad.

El índice de equitatividad de Pielou para la comunidad es cercano a 1, indicando que las especies tienden a ser igualmente abundantes; Este resultado coincide con la baja dominancia de especies que se registró para la comunidad. En general los valores de equitatividad en todos los meses de muestreo son altos, siendo agosto de 2019 la temporada con el valor de equitatividad más bajo, debido a que se encontró una alta abundancia del peracárido *C. savigy*. Esto puede explicarse si se tiene en cuenta que este grupo se caracteriza por tener un alto potencial para formar y aumentar sus poblaciones rápidamente y en poco tiempo cuando se encuentran en las condiciones ideales (Thiel y Hinojosa, 2009), por ejemplo, una alta carga de materia orgánica y remoción de fondos lodosos (Winfield, 1987), condiciones que son características en la época de lluvias. A pesar de esto, en ninguna temporada se registraron valores de equitatividad menores a $J' = 0.50$, lo que nos indica que las especies están presentando abundancias homogéneas prácticamente todo el año, a pesar de las diferencias intrínsecas de cada especie y su interacción con las otras, como los eventos reproductivos, el reclutamiento, la competencia y la depredación. Con base en los índices ecológicos obtenidos se puede afirmar que la comunidad de crustáceos asociada a los pastos marinos de la laguna de Sontecomapan es diversa.

Parámetros físicos y químicos

Es claro que las variables abióticas son factores que afectan e influyen en el establecimiento y distribución de los organismos, y en este estudio se puede observar una relación entre estos parámetros con abundancia de los organismos.



La zona de pastos marinos en la que se realizó el estudio se encuentra en la orilla contraria a la barra de Sontecomapan, ésta es una zona cercana a la desembocadura de la laguna al mar, por lo que se presentan importantes fluctuaciones de salinidad.

A lo largo de los meses de muestreo, la salinidad fluctuó de 22 a 35 ppm, siendo mayo de 2019 el mes con el valor más alto, coincidiendo con la época de secas de la región, en donde la poca o nula precipitación y la alta tasa de evaporación da como resultado el aumento de la salinidad en la laguna. En dicho mes también se presentó el valor más bajo de abundancia de organismos, probablemente relacionado con el reducido flujo de aguas epicontinentales y su carga de nutrientes. Winfield *et al.* (2007) registraron para el Sistema Lagunar de Alvarado, el descenso de los valores de biomasa de los pastos marinos durante la época de secas, esto relacionado a este poco flujo de aguas continentales cargadas de nutrientes. Con base en esto, se considera que la salinidad fue un parámetro que tuvo influencia en la densidad de los crustáceos debido a las variaciones que provoca en la biomasa de los pastos marinos.

En cuanto al oxígeno, este parámetro y su solubilidad en la columna de agua se ha visto relacionado de manera inversa la temperatura del ambiente, esto debido a que bajo temperaturas altas, la solubilidad del oxígeno es menor, así como su concentración en el agua, Por el contrario, en las épocas de lluvias y nortes suele generarse una mayor mezcla de aguas y la influencia de los vientos en la masa de agua es mayor y las temperaturas más bajas promueven una mayor estabilidad de la solubilidad de este parámetro (Yaldez-Holguin y Martínez-Cordoba, 1993; Contreras, 2001). Para la zona de pastos marinos dentro de la laguna de Sontecomapan, se observó un gradiente de concentración del oxígeno disuelto de acuerdo a la temporada climática. El menor valor de oxígeno disuelto se observó en la época de nortes, en donde también se registró la menor temperatura. De manera contraria, los menores valores de oxígeno coincidieron con la temperatura más alta registrada en la época de lluvias.

Por otro lado, el pH no mostró variaciones significativas a lo largo de los meses de muestreo. Se sabe que el pH varía dependiendo de la temperatura y de la entrada de la marea. El pH del agua de mar es generalmente entre 7.5 y 8.4. En agua dulce, el pH tiene un valor de 6.5 a 8.7, este valor está referido para ambientes en condiciones naturales (Brenes-



Esquivel y Rojas-Solano, 2005). La zona de pastos marinos en donde se tomaron los parámetros se ubica muy cerca de la desembocadura al mar, por esto el valor de pH es más parecido al del mar con un valor promedio de 8.

Se sabe que las especies habitantes de las lagunas costeras están sujetas a un constante estrés fisiológico debido a las cambiantes condiciones fisicoquímicas, principalmente a los cambios de salinidad, lo que hace que las especies abundantes en estos sistemas resulten ser las especies eurihalinas (Salazar-Vallejo y Gonzales, 1990). De acuerdo con los resultados obtenidos, toda la comunidad de crustáceos habitantes de la zona de pastos marinos presentó variación anual relacionada principalmente a la salinidad, ya que como señala Abele (1982), la densidad de la fauna asociada a la vegetación acuática sumergida es consecuencia de cambios en los parámetros ambientales como la temperatura, salinidad y régimen de mareas. En adición a esto, podríamos considerar que las especies encontradas en todas las temporadas de muestreo son aquellas con mayor adaptación a estos cambios en el ambiente.

Castellanos-Baltazar (2002), reportó praderas de este pasto marino en la zona media de la laguna de Sontecomapan, específicamente en la zona conocida como El Sumidero. La amplia y heterogénea distribución de los pastos marinos dentro de la laguna de Sontecomapan puede deberse a que la especie *R. maritima* presenta uno de los intervalos más amplios de tolerancia a la salinidad de todas las especies de pastos marinos existentes, logrando encontrarse desde aguas salobres hasta hipersalinas (10 ppm hasta > 35 ppm) (Kantrud, 1991; Green y Short, 2003). Esta característica puede permitir que existan parches de pastos marinos en zonas con valores distintos de salinidad dentro de la misma laguna y que la estructura de la comunidad de los crustáceos sea distinta dependiendo de en qué zona de la laguna se ubique dicha vegetación acuática sumergida.

Variación estacional

De las 26 especies de crustáceos encontradas, nueve se registraron en todos los meses de muestreo: *Apocorophium louisianum*, *Cerapus bentophilus*, *Farfantepenaeus aztecus*, *Cuapetes americanus*, *Chondrochelia savingyi*, *Discapseudes holtuisi*, *Cymadusa compta*, *Clibanarius vittatus* y *Eurypanopeus depressus*. La alta frecuencia de los anfípodos *C. compta* y *A. louisianum* ha sido reportada anteriormente en otros ambientes estuarinos.



Winfield (1999) reportó a *A. louisianum* como especie dominante en los pastos marinos del sistema lagunar de Alvarado. Barba y Sánchez (2005) encontraron a *C. compta* como la especie más abundante y con una presencia constante a lo largo de todo el año dentro de la Laguna Madre, Tamaulipas. De igual forma, Raz-Guzmán y Soto (2017) determinaron a *C. compta* como especie dominante, durante todas las temporadas de muestreo, en la vegetación acuática presente dentro de la laguna de Tamiahua. Por lo que estos resultados concuerdan con lo encontrado en otros ambientes estuarinos cercanos. La dominancia de estas especies puede atribuirse a que presentan estrategias de alimentación detritívora, filtradora, un alto potencial reproductivo, estrategia de reproducción iterópara, cuidado parental y hábitos tubícolas (Nelson, 1980; Winfield *et al.*, 2011); Características que les permiten enfrentar eficazmente las condiciones cambiantes propias de la boca de la laguna.

En cuanto a la frecuente presencia de los decápodos, las especies *F. aztecus*, *E. depressus* y *C. vittatus* han sido regularmente reportadas dentro de las principales lagunas del Golfo de México, como son el sistema lagunar de Alvarado, y las lagunas de Tamiahua, Términos y Mecoacán (Raz-Gúzman *et al.*, 1992; Álvarez y Villalobos, 1997; Álvarez *et al.*, 1999; Ocaña-Luna *et al.*, 2008; Domínguez *et al.*, 2003; Álvarez *et al.*, 2011; 2014; Miranda-Vidal *et al.*, 2016; Flores-Medina, 2018).

Por otro lado, el número de especies presentes de manera constante en todos los meses de muestreo es bajo, esto sugiere que existe un alto recambio de especies dentro de la comunidad, que podría explicarse por la pérdida de reclutas o migración a otras zonas dentro de la laguna y que probablemente se deba a la variación de las condiciones ambientales que se generen en las diferentes temporadas. Por lo tanto, se puede plantear que los pastos marinos son un lugar idóneo para encontrar registros nuevos de especies de crustáceos ya que, de acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio, el recambio de especies es muy alto. Además, las condiciones abióticas tan variables que se presentan a lo largo de las diferentes temporadas, propician que existan especies diferentes dependiendo de sus necesidades y preferencias en el ecosistema.

Esta variación en la estructura de la comunidad no solo se ha reportado de manera estacional, también se puede establecer que la composición de la comunidad, basado en los diferentes años de estudio en la laguna, ha presentado variaciones importantes. Álvarez *et al.*



(1999) registraron 335 especies de crustáceos decápodos para el estado de Veracruz, 68 son estuarinas (18.6%). En comparación, en el presente estudio se encontraron 18 especies de crustáceos decápodos y, de las 68 reportadas por estos autores, solo seis se encontraron en este estudio como especies asociadas a los pastos marinos de la laguna de Sontecomapan: *F. aztecus*, *C. vittatus*, *C. sapidus*, *C. similis*, *E. depressus* y *P. gracilis*. El hecho de que solo un porcentaje bajo de las especies encontradas en los pastos marinos hayan sido reportadas por los autores con anterioridad puede deberse a que el estudio de Álvarez *et al.* (1999) estuvo enfocado únicamente a crustáceos decápodos, por lo que las especies de peracáridos que se reportan aquí, no están referenciadas por ellos. Además, en su estudio no se encuentran listados camarones alfeidos en lagunas, y en esta investigación se reportaron cinco especies: *Alpheus armillatus*, *A. bouvieri*, *A. heterochaelis*, *A. estuariensis* y *A. paracrinitus*. Además, indica la necesidad de continuar realizando muestreos en regiones que, a pesar de tener una larga historia de estudios, siguen aportando información valiosa en las investigaciones, para completar el inventario nacional de la riqueza biológica y que son básicas en los planes de conservación y recuperación de los ambientes naturales del país.

En cuanto a datos más recientes, Flores-Medina (2018), quien hace un recuento histórico de los registros de crustáceos decápodos en la laguna de Sontecomapan y depositados en la CNCR, citó que se han registrado 43 especies de crustáceos decápodos, distribuidas en 26 géneros y 13 familias en varios ambientes como: bentos lagunar, fango emergido de zona de manglar, raíces de manglar y sustrato arenoso. En el presente estudio se han encontrado 17 especies de decápodos asociados a pastos marinos, de las cuales nueve fueron registradas en su estudio, esto refleja que la existencia de los pastos marinos dentro de la laguna es muy valiosa, no solo por la biodiversidad de alberga, sino porque es un hábitat que proporciona refugio y alimento, a las larvas de invertebrados y vertebrados, convirtiéndose en un área de crianza de gran importancia biológica (Winfield y Ortiz, 2003). Por otro lado, en ambos estudios, las especies de decápodos: *F. aztecus* y *C. sapidus* resaltaron por su alta abundancia. Esto refleja el claro enfoque de la mayoría de los estudios hacia las especies de importancia comercial, muchas veces dejando de lado el gran resto de formas que con frecuencia presentan un mayor reto por su gran complejidad taxonómica, pero eso también les otorga valor a trabajos como el presente en el que se aportan varios registros nuevos de especies de crustáceos para la laguna de Sontecomapan.



Estacionalidad y recambio de especies

De manera general, la mayoría de las especies a lo largo de los meses de muestreo mostraron variación en cuanto a su abundancia. Esto debido a que la abundancia está determinada principalmente por la competencia intraespecífica por los recursos disponibles, como el abasto de nutrientes, el cual también varía entre temporadas, por el aporte de los ríos y la biomasa de la vegetación costera y sumergida (Salazar-Vallejo y González, 1990). Es por esto que la presencia y la densidad de la vegetación acuática sumergida controla la abundancia de los organismos asociados como los peracáridos (Winfield *et al.*, 2007).

Algunas especies como el tanaidáceo *C. savyingi* y el anfípodo *C. bentophilus* destacaron por presentar abundancias muy altas en una temporada en específico. Esto refleja que estas especies, como la mayoría de los peracáridos, se pueden considerar especies oportunistas. Debido a que tienen la capacidad de aprovechar rápida y eficazmente los recursos disponibles en un ambiente en un tiempo determinado y gracias a esta eficacia de aprovechamiento de los recursos, generalmente tienen una alta tasa de reproducción (estrategia tipo r) lo que explica el hecho de que presenten altas abundancias en ciertas temporadas (Winfield y Ortiz, 2003, 2011; Winfield *et al.*, 2007).

La especie *C. savyingi* mostró su punto más alto de abundancia en agosto de 2019, coincidiendo con la época de lluvias, en donde la precipitación aumenta la descarga de los ríos y arrastra sedimento elevando el abasto de nutrientes. Por otro lado, *C. bentophilus* registró su abundancia más alta en febrero de 2019, que corresponde al final de la época de nortes, en donde a pesar de que es una época de muchos cambios y variaciones se abren nuevos espacios de colonización y disminuyen los competidores, por lo que algunas especies pueden aumentar sus poblaciones. De igual forma, estas especies se registraron en todas las temporadas, por lo que se podrían considerar como dominantes en el sistema. Similar a lo reportado por Winfield (1999) quien encontró a *C. savyingi* y *C. bentophilus* como especies dominantes en el sistema lagunar de Alvarado en Veracruz, haciendo hincapié en el incremento de su densidad particularmente en la época de lluvias, datos que de igual forma coinciden con lo encontrado en este estudio.



En cuanto a los decápodos, *Cuapetes americanus* fue una de las especies dominantes en el ambiente de pastos marinos, este género contiene especies de vida libre y algunas comensales de otros invertebrados (Holthuis, 1951). De manera similar a lo reportado en este estudio, Márquez-Rojas *et al.* (2006) reportaron a *C. americanus* como una de las especies más abundantes en las raíces de mangle y otros autores también la han reportado en altas abundancias dentro de zonas de pastos marinos en el Caribe mexicano (Bauer, 1985; Román-Contreras y Martínez-Mayén, 2010) por lo que su presencia dentro de los sistemas estuarinos y costeros, al parecer es recurrente.

La familia Alpheidae fue otro componente que mostró variaciones importantes dentro de la laguna. Esta familia agrupa a camarones que habitan una gran variedad de ambientes y frecuentemente son dominantes tanto en diversidad como en abundancia (Anker *et al.*, 2006). *Alpheus estuariensis* fue una de las especies que resaltó por su abundancia. La presencia de esta especie en los parches de pastos marinos puede deberse a que está restringida a ambientes estuarinos, en fondos lodosos y a una profundidad no mayor a 22 m (Martínez-Iglesias *et al.*, 1997) por lo que encuentran en esta zona el ambiente idóneo para su desarrollo y establecimiento. Gran parte de las especies del género *Alpheus* reportadas en este estudio se encuentran determinadas como complejos de especie: *Alpheus heterochaelis* (Almeida *et al.*, 2012), *A. armillatus* (Mathews y Anker, 2009; Anker, 2012), *A. bouvieri* (Anker *et al.*, 2009) y *A. paracrinitus* (Knowlton y Mills 1992; Anker, 2001). Debido a su situación taxonómica compleja y a que las identificaciones realizadas en este estudio fueron basadas únicamente en características morfológicas, la determinación del material examinado se debe considerar con cuidado. Por otro lado, la presencia de los camarones alfeidos en praderas de pastos marinos ha sido previamente reportada para el Golfo de México y el Caribe (Román-Contreras y Martínez-Mayén, 2010), particularmente el género *Alpheus* parece ser el más recurrente y diverso resaltando la presencia de especies como *A. armillatus* y *A. bouvieri*.

El hecho de que cada temporada de muestreo presentara diferentes especies como las más abundantes, puede deberse a la forma en la que los organismos enfrenten el ambiente. Por ejemplo, la tolerancia de cada especie ante los parámetros fisicoquímicos (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, etc.) a las condiciones ambientales (precipitación, vientos, turbulencia, desastres naturales) y su interacción con otros organismos (competencia,



depredación) y su habilidad o capacidad para el aprovechamiento de los recursos (espacio, alimento, pareja). Dentro de ambientes estuarinos como las lagunas costeras y particularmente en áreas de reproducción y reclutamiento, la composición faunística está regulada por las variaciones ambientales que determinan la cantidad de recursos disponibles, eventos que han sido ampliamente reportados en ambientes estuarinos con vegetación acuática sumergida (Thayer *et al.*, 1975; McRoy y McMillan, 1977; Escobar-Briones, 1984; Winfield, 1999).

Análisis de rango-abundancia Temporada de lluvias (2018)

En agosto de 2018 la especie más abundante fue *F. aztecus* con 32 organismos. Similar a lo encontrado por Sánchez (1997) quien registró la mayor densidad de peneidos en la época de lluvias. Zimmerman y Minello (1984) resaltaron la preferencia y por lo tanto la alta presencia de *F. aztecus* en los sustratos con vegetación acuática sumergida debido a que hay una mayor disponibilidad de presas y a la protección que le brinda este hábitat contra los depredadores. En adición a esto, Prosser (1973) mencionó que hay un efecto notorio de la salinidad sobre el metabolismo de los organismos eurihalinos, considerando que, de manera general, el metabolismo aumenta a bajas salinidades, por lo que estas condiciones se presentarían atractivas y favorables para los peneidos. En cuanto a otras variables ambientales, en esta época, se registró la mayor temperatura (30°C) y el menor valor de oxígeno disuelto en el agua (3.9 ml/L). En esta época se encontró el mayor valor de diversidad (21 spp.), lo que nos refleja que a pesar de que podría parecer que estas condiciones no son las más favorables para los organismos, las praderas de pastos marinos proporcionan una protección ante los cambios del ambiente. Además, Froneman (2002) mencionó que en ambientes estuarinos se puede observar un efecto de aumento de la biomasa planctónica, como resultado del aumento de las aguas epicontinentales y el transporte de nutrientes que se presenta durante la época de lluvias. Esto se puede relacionar con el aumento de la biomasa del pasto marino en la laguna y por consiguiente la ampliación del espacio disponible de refugio y asentamiento. También el incremento de la biomasa planctónica se traduce en una mayor cantidad de alimento aprovechable para los organismos habitantes de la zona.



Temporada de nortes (2019)

En febrero de 2019, la especie con mayor abundancia fue el anfípodo *C. bentophilus* con 96 organismos. Similar a lo anterior, Barba y Sánchez (2005) reportaron los mayores valores de abundancia de anfípodos durante la temporada de nortes y particularmente dentro de la vegetación acuática sumergida. Esto debido probablemente al aumento de las velocidades del viento y lluvias que caracterizan a esta época, condiciones que provocan una mezcla de las masas de agua, resuspensión de los sedimentos en la columna de agua y disposición de los nutrientes del fondo para los organismos (Okolodkov *et al.*, 2011; Salas-Pérez y Arenas-Fuentes, 2011). Además, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos, en esta temporada se registró el valor más alto de oxígeno disuelto (15.6 ml/L) y el valor más bajo de salinidad (22 ppm). De manera que, al parecer dichas condiciones, en su conjunto podrían estar beneficiando el crecimiento de las poblaciones de especies oportunistas como lo son los anfípodos.

Temporada de secas (2019)

En mayo de 2019 la especie con mayor abundancia fue el anfípodo *C. compta* con 19 organismos. Cabe resaltar que en esta época se registró la mayor salinidad (35 ppm). Además, fue una de las especies que se presentó a lo largo de todo el año de muestreo, por lo que podemos establecer que es altamente tolerante a los cambios del ambiente, lo que le permite resultar tan abundante en condiciones eurihalinas. En esta temporada las mayores abundancias las presentaron los peracáridos, esto es interesante ya que resulta indicativo de que son de los grupos de crustáceos con mayor tolerancia y adaptabilidad a las diferentes condiciones de la laguna, ya que, a pesar del aumento de la temperatura, salinidad y aporte de nutrientes por la descarga de los afluentes, este grupo continuo el crecimiento de sus poblaciones.

Temporada de lluvias (2019)

Para agosto de 2019, la especie con mayor abundancia fue el tanaidáceo *C. savyingi* con 224 organismos. Este resultado también fue reportado por Ramírez-Rojas (2007) quien encontró esta especie como una de las más abundantes asociadas a parches de *R. maritima*



dentro del sistema lagunar de Alvarado. También mencionó que este peracárido fue particularmente más abundante en la época de secas, en contraste con lo que se está reportando para la laguna de Sontecomapan, en el presente estudio. De manera general, las mayores abundancias las presentaron los peracáridos, probablemente este grupo se vio beneficiado por el aumento del aporte de materia orgánica arrastrada por el afluente de los ríos que crece de manera significativa por el aporte pluvial.

Temporada de nortes (2019)

El muestreo realizado en noviembre de 2019, también corresponde a la temporada de nortes, pero a diferencia del anterior, este fue uno de los meses en donde se encontró mayor riqueza de organismos. La especie que presentó la mayor abundancia fue *C. americanus* con 42 organismos, a pesar de que esta fue una de las especies dominantes recurrentes en todos los meses de muestreo, su abundancia en este mes aumentó drásticamente. Esto podría deberse a que, en este mes en particular, se encontró que la biomasa de los pastos marinos fue muy alta en comparación con los otros meses de muestreo y a pesar de que en este estudio no se tomaron datos de la biomasa de los pastos, si se notaron cambios en la extensión de los parches. Esto podría explicar la variación de la biomasa de los crustáceos asociados ya que en las épocas en las que se presentara mayor biomasa de pastos marinos, los organismos encontrarían más recursos y por lo tanto habría menos competencia intra e interespecífica, lo cual daría oportunidad a algunas especies de aumentar su abundancia. Una de las especies que también presentó una alta abundancia en esta temporada fue *D. holthuisi*, la cual, de acuerdo con Winfield (1987), suele presentar su pico más alto de abundancia justamente en la época de nortes, debido a que esta temporada presenta las condiciones óptimas de crecimiento para la población como mayor remoción de las partículas, mayor disponibilidad de la materia orgánica y mayor oxígeno disuelto en el agua, además coincide con su época de reproducción. En este mes se presentaron por primera vez dos especies: *Potimirim mexicana* y *Ambidexter symmetricus* y con un solo organismo ambas. A pesar de que autores como Miranda-Vidal (2016) reportaron a *P. mexicana* como una especie dominante en cuanto a su abundancia y frecuencia dentro de la cuenca del río Papaloapan, Veracruz, parece que particularmente en la zona de pastos marinos no es una especie recurrente.



Asociaciones de similitud

En cuanto a la similitud de la composición entre los diferentes meses de muestreo, el índice de Sorensen reflejó que la similitud es alta de manera general ya que ningún valor se encontró por debajo de $S=0.5$. La mayor similitud se encontró entre agosto de 2018 y agosto de 2019 con $S=0.81$, lo cual tiene sentido ya que se trata de la misma temporada climática. La menor similitud se registró entre febrero y noviembre de 2019 con $S=0.60$, en este caso a pesar de que ambos meses corresponden a la época de nortes, los muestreos tienen prácticamente un año de separación entre sí, lo que nos refleja nuevamente el alto recambio de especies que puede ocurrir dentro de este ambiente. Esto tiene sentido si se considera que las bocas de comunicación de las lagunas costeras se caracterizan por ser extremadamente dinámicas y estas condiciones altamente cambiantes se estarían viendo reflejadas en la composición de las especies a través del tiempo.

Por otro lado, si se analizan los resultados por temporada, se puede observar que el muestreo realizado en agosto de 2019, correspondiente a la época de lluvias, resalta entre los demás, debido a que presentó una similitud alta de entre 75 a 100% con el resto de los muestreos y temporadas. Esto podría deberse a que en dicho muestreo se reportaron todas las especies catalogadas como constantes y, además, se encontró la menor cantidad de especies raras de todos los muestreos. Estas características ubican a este muestreo como el que mejor representó a toda la comunidad de crustáceos del ambiente.

Análisis de Olmstead-Tukey

El análisis de asociación de Olmstead-Tukey mostró que el 59.2% de las especies son raras, esto significa que más de la mitad de las especies se presentaron solo una o dos veces a lo largo del año, reflejando así que existe una alta variación en la composición de las especies a través del tiempo. Este patrón probablemente se debe a que las especies están sometidas a condiciones altamente cambiantes dentro de la laguna, por lo tanto, algunas especies se verán más afectadas por los cambios y serán remplazadas por otras de manera constante. Este porcentaje se encuentra en su mayor parte compuesto por especies de decápodos, reflejando así que este grupo de crustáceos son los que están presentando el recambio de especies más alto. Otros estudios similares han encontrado también que hay



cerca del 50% de especies raras (Escobar-Briones, 1984; Hernández, 2002; Hernández *et al.* 2010; Hernández-Pérez, 2015; Flores-Medina, 2018; Suárez-Caballero, 2018; Martínez-Cárdenas, 2019).

El porcentaje de especies dominantes resultó de 22.2%, siendo representado por seis especies, cuatro de ellas pertenecientes al grupo de los peracáridos: *A. louisianum*, *C. bentophilus*, *C. compta* y *C. savyingi* y dos decápodos: *F. aztecus* y *C. americanus*. La dominancia de las dos especies de decápodos ya ha sido previamente registrada en otras lagunas costeras con presencia de praderas de pastos marinos como la laguna de Términos, Laguna Madre y Laguna de Mecoacán (Flores *et al.*, 1996; Sánchez, 1997; Barba, 1999; Domínguez *et al.*, 2003). Se puede notar que los peracáridos son el grupo de crustáceos que se encuentran dominando este sistema, estos resultados reafirman la ya conocida estrecha relación entre este grupo de crustáceos con la vegetación acuática sumergida.

En cuanto a la categoría de especies constantes, se obtuvo un porcentaje de 18.5%, el cual estuvo representado en su mayoría por los cangrejos: *C. similis*, *C. sapidus*, *E. depressus*, *C. vittatus* y por el tanaidáceo *D. holthuisi*. La presencia de estos organismos de manera frecuente en la laguna refleja que la zona de pastos marinos es un ambiente satisfactorio en cuanto a sus necesidades y que estos organismos son altamente tolerantes a las variaciones bióticas y abióticas que se presentan dentro de esta zona, lo que les permite situarse en este ambiente prácticamente en todas las temporadas. De manera similar, Miranda-Vidal (2016) reportó a *D. holthuisi* y *C. similis* como especies constantes dentro de la laguna de Sontecomapan y en la cuenca baja del río Papaloapan en Veracruz. De igual forma, Winfield-Aguilar (1987) reportó a *D. holthuisi* como una especie constante dentro de la laguna de Sontecomapan debido a sus características eurihalinas.

Por otro lado, no se obtuvieron especies catalogadas como ocasionales, lo cual nos sugiere que no hay crustáceos en abundancias altas que se estén presentando de manera esporádica entre las diferentes temporadas. Esto podría explicarse por el hecho de que, de acuerdo con los resultados obtenidos, los pastos marinos son un ambiente con una alta diversidad y abundancia de especies prácticamente todo el tiempo, lo que dificulta que especies que lleguen a este ambiente de manera eventual puedan aprovechar todos los



recursos necesarios para aumentar la abundancia de sus poblaciones en este sitio tan competitivo como lo son los pastos marinos.

Curva de acumulación de especies

Dentro de ambientes dinámicos como lo son las lagunas costeras y particularmente trabajando con grupos biológicos tan diversos y abundantes como los crustáceos, el conocer y representar a todas las especies se dificulta mucho y puede que especies se estén perdiendo del registro por la limitación de los muestreos. En estos casos las curvas de acumulación de especies son particularmente útiles para aproximarnos al conocimiento real de la comunidad y detectar si el esfuerzo de muestreo ha sido el suficiente (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). La curva de rarefacción obtenida nos muestra que estaríamos próximos a registrar todas las especies de crustáceos asociados a pastos marinos, ya que de acuerdo con el estimador no paramétrico Chao 2, existen 29 especies en el sistema, de las cuales 26 fueron registradas en este estudio. Este estimador se basa en la incidencia, particularmente en datos de presencia-ausencia de las especies en una muestra dada y cuantas veces se presenta. Resulta una herramienta útil, particularmente para estudios ecológicos con grupos tan diversos como los crustáceos, para conocer qué tan cerca o lejos nos encontramos del número máximo de especies y de esta manera apoyarnos en la planeación de los trabajos e investigación, así como en la inversión tanto de tiempo, dinero y ayuda a decidir si es conveniente realizar estudios a futuro en la zona (Escalante-Espinoza, 2003).

A pesar de que el estimador indicó que los resultados de este estudio son una buena aproximación a los valores de riqueza reales, cabe resaltar que probablemente la riqueza de especies de crustáceos asociados a pastos marinos sea aún mayor. Esto debido a que, por las limitaciones del tipo de muestreo empleado en este estudio, solo se están considerando a las especies asociadas a la estructura externa del pasto (hojas, vainas, flores y frutos), pero se están dejando fuera a aquellos crustáceos hipogeos presentes en los rizomas y raíces de los pastos. En estos sitios también existen organismos relacionados y ellos no están siendo valorados con los estimadores. Además, cabe resaltar que, debido a la dinámica de las bocas de comunicación de las lagunas costeras, existe una constante entrada y salida de crustáceos y otros invertebrados que utilizan esta comunicación entre el mar y las aguas salobres como estaciones donde llevan a cabo parte de su ciclo de vida, por lo que esta compleja interacción



de los crustáceos con los diferentes ambientes estaría generando un sesgo considerable. Debido a esto, se sugiere la realización de muestreos mensuales para garantizar la presencia de las especies por mes y de esta manera poder aproximar de una mejor forma el tiempo que habitan las especies dentro de este ambiente.

Comparación de la riqueza de crustáceos estuarinos

De manera general, se puede percibir que hay un mayor número de especies de decápodos que de peracáridos registradas para los ambientes estuarinos del estado de Veracruz, y esto coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio para los pastos marinos en Sontecomapan. Pero esto no necesariamente significa que se esté reflejando fielmente la comunidad, ya que el esfuerzo de muestreo no está dirigido de manera uniforme. La mayoría de los estudios en ambientes estuarinos de Veracruz están claramente dirigidos a los decápodos, probablemente debido a la necesidad de generar información de este grupo por su aprovechamiento comercial. Son pocos aquellos estudios dirigidos específicamente a los peracáridos, probablemente debido a su tamaño tan pequeño, que puede ser de apenas unos milímetros, y considerando que sus principales características de importancia taxonómica se encuentran en la masa bucal, se dificulta su examinación e identificación. Además, algunas especies presentan un dimorfismo sexual marcado que provoca que a veces se pueda percibir a los machos y hembras como pertenecientes a diferentes especies.

En cuanto a las localidades estudiadas, es claro que la información se concentra en ciertas lagunas, principalmente aquellas con atractivo comercial o turístico como lo es el sistema lagunar de Alvarado. Es importante resaltar que el número de especies registradas solo en la zona de pastos marinos en la laguna de Sontecomapan es muy alto, en comparación con los datos reportados por estudios de todo un cuerpo estuarino. Lo que nos refleja que los pastos marinos son un hábitat ideal para los crustáceos.

Finalmente, la línea de investigación que surge con la información aquí expuesta es amplia. Se sugiere ampliar el estudio aportando datos acerca de la relación entre los cambios de la biomasa de los pastos marinos a lo largo de las diferentes temporadas climáticas y cuál es su relación con la riqueza, abundancia y/o biomasa de los crustáceos asociados, esto incrementaría la información acerca de la relación que hay entre estos organismos y que tan



significativa pudiera ser, en términos biológicos y ecológicos. También se podría aumentar la información estudiando a los crustáceos asociados a las estructuras hipogeas del pasto marino ya que seguro ahí se encuentran asociadas varias especies que, por la metodología empleada, están quedando fuera en este trabajo. Además, se podría realizar una comparación entre la estructura de la comunidad de crustáceos de esta laguna, con otros sistemas estuarinos que también presenten pastos marinos y analizar si se están encontrando las mismas especies de pastos marinos y si hay diferencia entre la cantidad de organismos que puedan refugiar, si existen diferencias entre las especies encontradas y cuáles son dominantes en los diferentes sitios.



CONCLUSIONES

- ❖ Se encontraron 26 especies de crustáceos asociados a los pastos marinos en la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México.
- ❖ Se presenta el nuevo registro de 16 especies para la laguna de Sontecomapan: *A. symmetricus*, *P. mexicana*, *C. americanus*, *H. laguna*, *C. bentophilus*, *A. louisianum*, *G. bonnieroides*, *G. mucronatus*, *C. compta*, *C. savingyi*, *Munna* sp., *A. armillatus*, *A. bouvieri*, *A. estuariensis*, *A. heterochaelis* y *A. paracrinitus*.
- ❖ Existe una clara variación estacional de la riqueza y abundancia de los crustáceos asociados a pastos marinos en la laguna de Sontecomapan.
- ❖ Las épocas con la mayor riqueza y bundancia fueron la época de lluvias y nortes.
- ❖ El grupo de crustáceos que resaltó por su abundancia dentro de los pastos marinos fue el de los peracáridos.
- ❖ La diversidad de crustáceos asociados a pastos marinos fue alta. La mayor diversidad por Shannon-Wiener fue en noviembre de 2019 y por Margalef fue en agosto de 2018; el valor más bajo de dominancia se registró en noviembre de 2019 y la mayor equitatividad en mayo de 2019.
- ❖ Existe una influencia de la salinidad en la abundancia de los crustáceos, probablemente debido a los cambios en la biomasa de los pastos marinos provocada por la conexión cercana con el mar.
- ❖ Se presentó una variación estacional en la composición de la comunidad de crustáceos asociados a pastos marinos en la boca de comunicación de la laguna de Sontecomapan.
- ❖ Existe un alto recambio de especies, en agosto de 2019 la mayor abundancia la presentó *F. aztecus*; en febrero de 2019 fue *C. bentophilus*; en mayo de 2019 *C. compta*, en agosto de 2019 *C. savingyi* y en noviembre de 2019 *C. americanus*.
- ❖ Se registraron nueve especies constantes en todas las temporadas de muestreo: *A. louisianum*, *C. bentophilus*, *D. holthuisi*, *F. aztecus*, *C. americanus*, *C. savingyi*, *C. compta*, *C. vittatus* y *E. depressus*.
- ❖ La temporada de muestreo que represento mejor a la composición de la comunidad de crustáceos asociados a pastos marinos fue la época de lluvias.



- ❖ La prueba de Olmstead-Tukey reveló que hay seis especies dominando el sistema: *F. aztecus*, *C. americanus*, *A. louisianum*, *C. bentophilus*, *C. compta* y *C. savyingi*.
- ❖ La curva de acumulación de especies reveló que potencialmente existen 29 especies asociadas a pastos marinos.
- ❖ La riqueza de crustáceos encontrados asociados a pastos marinos en la laguna de Sontecomapan es alta en comparación a los datos reportados para otros ambientes estuarinos de Veracruz.
- ❖ Los pastos marinos son ambientes que albergan una importante comunidad de crustáceos, por lo que son clave para mantenimiento de ésta biodiversidad, tanto dentro de la laguna de Sontecomapan como en estado de Veracruz.



LITERATURA CITADA

- Abele, L.G., 1982. Biogeography. pp. 242-304. *En:* L.G. Abele, (Ed.) The biology of Crustacea: Systematics, the fossil record, and biogeography. Academic Press, Vol. I, Nueva York. 319 p.
- Abele, Lawrence & Kim, Won. 1986. An Illustrated Guide to the Marine Decapod Crustaceans of Florida. State of Florida Department of Environmental Regulation Technical Series. **8**. 208 p.
- 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 (165-191 p.). *In:* Zhang, Z.-Q. (Ed.) Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness. *Zootaxa*, **3148**: 1-237.
- Almeida, A. O., G. Boehs, C. L. Araujo-Silva y L. A. Bezerra. 2012. Shallow-water caridean shrimps from southern Bahia, Brazil, including the first record of *Synalpheus* (Ríos & Duffy, 2007) (Alpheidae) in the southwestern Atlantic Ocean. *Zootaxa*, **3347**: 1–35.
- Álvarez, F. y J. L. Villalobos. 1997. Decapoda. pp. 433-438. *En:* Gonzáles, S. E. R., R. Dirzo y R. C. Vogt (Eds.) 1997. Historia Natural de los Tuxtlas. Instituto de Biología, UNAM, CONABIO e Instituto de Ecología, UNAM. México. 647 p.
- Álvarez, F., J. L. Villalobos, M. E. Hendrickx, E. Escobar-Briones, G. Rodríguez-Almaraz y E. Campos. 2014. Biodiversidad de crustáceos decápodos (Crustacea: Decapoda) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **85**: 208-219.
- Álvarez, F., J. L. Villalobos, Y. Rojas y R. Robles. 1999. Listas y comentarios sobre los crustáceos decápodos de Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Zoológica*, **70**(1): 1–27.
- Álvarez, N. F., J. L. Villalobos y S. Cházaro-Olvera. 2011. Camarones y cangrejos dulceacuícolas y marinos (Crustacea: Decapoda): 287-293. *En:* F. G. Lorea-Hernández, V. Hernández-Ortiz y J. M. Morales-Mavil (Eds.), La biodiversidad en Veracruz, estudio de Estado. CONABIO/ Gobierno del estado de Veracruz, México, D. F. 679 p.
- Álvarez-Arellano, A. D. y J. Gaitán Morán. 1994. Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano: Geología. pp 13-74. *En:* G. de la Lanza-Espino y C. Cáceres-Martínez (eds). *Lagunas Costeras y el Litoral Mexicano*. UNAM-UABCS, 525 p.
- Anker A., S. T. Ahyong, P. Y. Noel y A. R. Palmer. 2006. Morphological phylogeny of alpheid shrimps: parallel preadaptation and the origin of a key morphological innovation, the snapping claw. *Evolution*, **60**: 2507-2528.



- Anker, A. 2001. Two new species of snapping shrimps from the Indo-Pacific, with remarks on colour patterns and sibling species in Alpheidae (Crustacea: Caridea). *The Raffles Bulletin of Zoology*, **49**(1): 57–72.
- Anker, A. 2012. Revision of the western Atlantic members of the *Alpheus armillatus* H. Milne Edwards, 1837 species complex (Decapoda, Alpheidae), with description of seven new species. *Zootaxa*, **3386**: 1-109.
- Anker, A., Hurt, C. & Knowlton, N. 2009. Description of cryptic taxa within the *Alpheus bouvieri* A. Milne-Edwards, 1878 and *A. hebes* Abele & Kim, 1988 species complexes (Crustacea: Decapoda: Alpheidae). *Zootaxa*, **2153**: 1–23.
- Barba, E. y A. J. Sánchez. 2005. Peracarid Crustaceans of Central Laguna Madre Tamaulipas in the Southwestern Gulf of Mexico. *Gulf of Mexico Science*, **23**(2): 241-247.
- Barba, M. E. 1999. Variación de la diversidad y la biomasa de peces juveniles y decápodos epibénticos de la región central de la laguna Madre, Tamaulipas. *Hidrobiológica*, **9**(2): 103-116.
- Bauer, R. T. 1985. Diel and seasonal variation in species composition and abundance of caridean shrimps (Crustacea, Decapoda) from seagrass meadows on the north coast of Puerto Rico. *Bulletin of Marine Science*, **36**:150–162.
- Bauer, R.T. 2011. Amphidromy and migrations of freshwater shrimps. I. Costs, benefits, evolutionary origins, and an unusual case of amphidromy. *New frontiers in Crustacean Biology*, 145-156.
- Bortolini-Rosales, J.L., Alonso-Reyes, M.P. y F. Alvarez. 2010. Análisis discriminante aplicado a los grupos sexuales de Potimirim mexicana, camarón hermafrodita protándrico. *Revista mexicana de biodiversidad*. **81**: 187-192.
- Brenes-Esquivel, R. y L. F. Rojas-Solano. 2005. El agua: sus propiedades y su importancia biológica. *Acta Académica*, 167-196.
- Briones-Fourzán P, V. Castañeda-Fernández de Lara, E. Lozano Álvarez, J. Estrada-Olivo. 2003. Feeding ecology of the three juvenile phases of the spiny lobster *Panulirus argus* in a tropical reef lagoon. *Marine Biology*, **142**:855–865.
- Brusca, R. C., W. Moore y M.S. Shuster. 2016. Invertebrates. Tercera edición. Sinauer Associates, Inc., Publishers Sunderland, Massachusetts USA. 761-774.
- Carabias, J., J. A. Meave, T. Valverde y Z. Cano-Santana. 2009. Ecología y medio ambiente en el siglo XXI. Pearson Educación, México. 264 p.
- Casset, M., F. R. Momo y D. N. Adonis. 2001. Dinámica poblacional de dos especies de anfípodos y su relación con la vegetación acuática en un microambiente de la cuenca del río Luján (Argentina). *Ecología Austral*, **11**(2): 79–85.



- Castellanos-Baltazar A. 2002. Caracterización hidrológica de la laguna de Sontecomapan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de estudios superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 115 p.
- Castillo-Cerón, J. M. e I. Goyenechea. Conceptos básicos en sistemática filogenética: los deuterostomados como ejemplo. pp. 145-146. *En*: Contreras-Ramos, A., C.C. Cuevas, I. Goyenechea y U. Iturbe (eds.), 2007. La Sistemática, Base del conocimiento de la biodiversidad. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.
- Castro, G. M. A. P. 1986. Comportamiento estacional de nitratos, fosfatos y amonio en la laguna de Sontecomapan, Veracruz. (abril 1983- marzo 1984). Tesis de licenciatura, Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. 70 pp.
- Chace, F. A. Jr. 1972. The shrimps of the Smithsonian-Bredin Caribbean expeditions with a summary of the West Indian shallow-water species (Crustacea: Decapoda: Natantia). *Smithsonian Contributions to Zoology* **98**: 1-179.
- Chao, A. 1984. "Nonparametric estimation of the number of classes in a population", *Scandinavian Journal of Statistics*, **11**: 256-270.
- Cházaro-Olvera, S., I. Winfield, M. Ortiz y F. Álvarez. 2002. Peracarid crustaceans from three inlets in the southwestern Gulf of Mexico: new records and range extensions. *Zootaxa* **123**: 1-16.
- Chincholla-Rey, Ma C. P. 1984. Contribución al conocimiento de la macrofauna bentónica intermareal en Sontecomapan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 66 p.
- Churchill, E.P. 1919. Life history of the blue crab. *Bulletin of the Bureau of Fisheries*, **36**: 95-128.
- Contreras, E. 2001. Caracterización de las lagunas costeras mexicanas a través de variables ecológicas seleccionadas. Tesis de doctorado. Doctorado en Ciencias Biológicas. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana. Mexico, 94 p.
- Contreras, E. F. 1993. Ecosistemas costeros mexicanos. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México. 167-168. ISBN 970-620-371-0.
- Contreras-Espinoza, F., O. Castañeda-López, E. Barba-Macías y M. A. Pérez-Hernández. Caracterización e importancia de las lagunas costeras. pp. 31-37. *En*: Guzmán, A. P. (Ed.) 2000. La pesca en Veracruz y sus perspectivas de desarrollo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: Instituto Nacional de Pesca: Universidad Veracruzana México. 434 p.
- De Grave S., Cai Y. y A. Anker (2007) Global diversity of shrimps (Crustacea: Decapoda: Caridea) in freshwater. *En*: Balian E.V., Lévêque C., Segers H., Martens K. (eds.) Freshwater Animal Diversity Assessment. Developments in Hydrobiology, Springer, Dordrecht, 287-293.



- Domínguez, J., A. Sánchez, R. Florido y E. Barba. 2003. Distribución de macrocrustáceos en la laguna Mecoacán, al sur del Golfo de México, *Hidrobiológica*, **13**(2): 127-136.
- Duffy J.E. y M. E. Hay. 2000. Strong impacts of grazing amphipods on the organization of a benthic community. *Ecological Monographs*, **70**:237–263
- Duffy, E.J., K.S. Macdonald, J.M. Rhode y J.D. Parker. 2001. Grazer diversity, functional redundancy, and productivity in seagrass beds: an experimental test. *Ecology*, **82**(9), 2417-2434.
- EBTuxtlas (Estación de Biología Los Tuxtlas, Instituto de Biología). 2006. Generalidades de la región. En: <http://www.ibiologia.unam.mx/tuxtlas/localizacion/generalidades/frame.htm>. Consultado el 22 de abril de 2019.
- Escalante-Espinoza, T. 2003. ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos: ciencia y cultura*, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. 53-56.
- Escobar-Briones, E. G. 1984. Comunidades de macroinvertebrados bentónicos en la laguna de Términos, Campeche: Composición y estructura. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 12- 119.
- Flores, A., A. J. Sánchez y L. A. Soto. 1996. Distribución de camarones (Decapoda: Penaeidae) en una laguna costera tropical del Suroccidente del Golfo de México. *Avicennia*, **4**(5): 1-12.
- Flores-Medina, J. L. 2018. Patrones de distribución de los camarones y cangrejos (Crustacea: Decapoda) de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México. Tesis profesional de licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 73 pp.
- Froneman, P. W. 2002. Response of the plankton to three different hydrological phases of the temporarily open/closed Kasouga Estuary, South Africa. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **55**: 535-546.
- García, E. 1970. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 98 pp.
- García-Madrigal, M. 2007. Clave ilustrada para las familias de anfípodos gamáridos (Peracarida: Amphipoda) litorales del Pacífico oriental tropical y glosario de términos. *Ciencia y Mar*, **XI** (32): 3-27.
- Green, E.P. y F.T. Short (Eds.) 2003. World Atlas of Seagrasses. UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA. 201-231.
- Gutiérrez-Aguirre, M A., M. G. Fuente-Betancourt y A. Cervantes-Martínez. 2000. Biomasa y densidad de dos especies de pastos marinos en el sur de Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*, **48**: 313-316.
- Guțu, M. 2006. New Apseudomorph Taxa (Crustacea, Tanaidacea) of the World Ocean. Curtea Veche, Bucharest Romania. 318 p.



- Hartog, den C. y J. Kuo, 2007. Taxonomy and Biogeography of Seagrasses. pp. 1-23. *En*: Larkum, D.W.A., R. J. Orth y Duarte, M. C. (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, Springer. 1-23.
- Heard, R. W., T. Hansknecht, y K. Larsen. 2003. An Illustrated Identification Guide to Florida Tanaidacea (Crustacea: Peracarida) Occurring in Depths of Less Than 200 m. Gulf Coast Research Institute. University of Southern Mississippi, 1-92.
- Heard, R. W., T. Hansknecht, y K. Larsen. 2003. An Illustrated Identification Guide to Florida Tanaidacea (Crustacea: Peracarida) Occurring in Depths of Less Than 200 m. Gulf Coast Research Institute. University of Southern Mississippi, 1-92.
- Heck, K. L. y G. S. Wetstone. 1977. Habitat complexity and invertebrate species richness and abundance in tropical seagrass meadows. *Journal of Biogeography*, **4**: 135-142.
- Hendrickx, M. E. 1995. Camarones. pp. 417-427 *En*: Fischer, W., F. Krupp, W. Schneider, C. Sommer, K. E. Carpenter y V. H. Niem. (Eds.). *Guía FAO para la identificación de especies para los fines de la pesca. Pacífico Centro-Oriental*. Roma, FAO, **1**(1): 417-427.
- Hendrickx, M.E. 1993. Crustáceos decápodos del Pacífico Mexicano. pp 271-318. *En*: Biodiversidad Marina y Costera de México. S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (Eds.) Comisión Nacional para el Conocimiento y Aprovechamiento de la Biodiversidad (CONABIO) y Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO), México.
- 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.
- Hernández, C., F. Álvarez y J. L. Villalobos. 2010. Crustáceos asociados a sustrato duro en la zona intermareal de Montepío, Veracruz, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, **81**(Supl. oct), 141-151.
- Hernández-Aguilera, J. L., J. A. R. Nuño, R. E. T. Almazán y V. A. Fuentes. 2005. Camarones, langostas y cangrejos de la Costa Este de México. Volumen I. Estudio y Conservación de la Naturaleza A. C. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 350 p.
- Hernández-Aguilera, J. L., R. E. Toral-Almazán y J. A. Ruiz-Nuño. 1996. Especies catalogadas de crustáceos estomatópodos y decápodos para el Golfo de México, Río Bravo, Tamps. a Puerto Progreso, Yuc. Secretaría de Marina y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 132 p.
- Hernández-Alvarez, C. 2002. Variabilidad estacional de la comunidad de crustáceos de la facie rocosa intermareal, en Montepío, Veracruz Tesis maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. 70 p.



- Hernández-Pérez, J. R. 2015. Estudio faunístico de los moluscos del arrecife "La perla del golfo", Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 40-43.
- Hoil- Baeza, J. A. 2012. Efectos de los pastos marinos en la estabilidad de playas. Tesis profesional de maestría. Posgrado en Ciencias del mar y limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 119p.
- Holthuis, L. B. 1951. A general revision of the Palaemonidae (Crustacea Decapoda Natantia) of the Americas. I. The Subfamilies Euryrhynchinae and Pontoniinae. *Allan Hancock Foundation Occasional Papers*, **11**:1-332.
- Holthuis, L. B. 1993. The recent genera of the caridean and stenopodidean shrimps (Crustacea, Decapoda): With an appendix on the order Amphionidacea. National Natuurhistorisch Museum. Leiden, The Netherlands. 328 pp.
- Jaschinski, S. y U. Sommer. 2010. How do nutrient conditions and species identity influence the impact of mesograzers in eelgrass-epiphyte systems?, *Marine Biology*, **158**, 193-203.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*. **8**. 151-161.
- Kantrud, H.A. 1991. Wigeongrass (*Ruppia maritima* L.): A Literature review. *The United States Fish and Wildlife Service*, **10**: 58.
- Klumpp DW, R.K. Howard, D.W. Pollard. 1989. Trophodynamics and nutritional ecology of seagrass communities. En: Larkum A.W.D., A.J. McComb, S.A. Shepherd (Eds.) *Biology of seagrasses. A treatise on the biology of seagrasses with special reference to the Australian region*. Elsevier, Amsterdam, 394-457.
- Knowles, L. y S. Bell. 1998. The influence of hábitat structure in faunal-habitat associations in a Tampa Bay seagrass system, Florida. *Bulletin of marine science*, **62**(3): 781-794.
- Knowlton, N. & Mills, D.K. 1992. The systematic importance of color and color pattern: evidence for complexes of sibling species of snapping shrimp (Caridea: Alpheidae: *Alpheus*) from the Caribbean and Pacific coasts of Panama. *Proceedings of the San Diego Society of Natural History*, **18**: 1-5.
- LeCroy, S. 2000. An illustrated identification guide to the nearshore marine and estuarine Gammaridean Amphipoda of Florida, Volume 1, Families Gammaridae, Hadziidae, Isaeidae, Melitidae and Oedicerotidae. Tallahassee: Florida Department of Environmental Protection. 195 pp.
- LeCroy, S. 2002. An illustrated identification guide to the nearshore marine and estuarine Gammaridean Amphipoda of Florida, Volume 2, Families Ampeliscidae, Amphiloichidae, Ampithoidae, Aoridae, Argissidae and Haustoriidae. Tallahassee: Florida Department of Environmental Protection. 410 pp.



- LeCroy, S. 2004. An illustrated identification guide to the nearshore marine and estuarine gammaridean Amphipoda of Florida, Volume 3, Families Bateidae, Biancolinidae, Cheluridae, Colomastigidae, Corophiidae, Cypropoideidae and Dexaminidae. Tallahassee: Florida Department of Environmental Protection. 501 pp.
- LeCroy, S. 2007. An illustrated identification guide to the nearshore marine and estuarine gammaridean Amphipoda of Florida, Volume 4, Families Anamixidae, Eusiridae, Hyalellidae, Hyalidae, Iphimedidae, Ischyroceridae, Lysianassidae, Megaluropidae and Melphidippidae. Annual report. Tallahassee: Florida Department of Environmental Protection. 400 pp.
- López-Rivas, R. M. 1994. Aspectos ecológicos de los gasterópodos asociados a pastos marinos y su relación con parámetros ambientales y sedimentos en la laguna Bojorquez y Cuenca Norte del Sistema lagunar Nichupte, Quintana Roo, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 63 p.
- López-Santana M. 1999. Reclutamiento de postlarvas de crustáceos decápodos a través de la boca de la Laguna Camaronera, Alvarado, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 20-31.
- Lowry, J.K. y A.A. Myers. 2013. A Phylogeny and Classification of the Senticaudata subord. nov. (Crustacea: Amphipoda). *Zootaxa*, **3610** (1): 1–80.
- Lowry, J.K. y 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.
- Manning R.B. y F.A. Chace, Jr. 1971. Shrimps of the Family Processidae from the Northwestern Atlantic Ocean (Crustacea: Decapoda: Caridea). *Smithsonian Contributions to Zoology*; **89**: 1-41.
- Márquez-Rojas, B., J.P. Blanco-Rambla, M. Jiménez y T. Allen. 2006. Crustáceos asociados a las raíces del mangle rojo *Rhizophora mangle* (L.) en el Golfo de Santa Fe, Estado Sucre, Venezuela. *Ciencia*, **14**(1): 12-27.
- Martínez- Iglesias, J., R. Ríos y O. Carvacho. 1997. Las especies del género *Alpheus* (Decapoda: Alpheidae) de Cuba. *Revista Biológica Tropical*, **44**(3) /**45**(1): 401-429.
- Martínez-Cárdenas, J. S. 2019. Estudio faunístico de los camarones pistola (Decapoda: Alpheidae) del arrecife La Perla del Golfo, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 70 p.
- Mathews, L. y A. Anker. 2009. Molecular phylogeny reveals extensive ancient and ongoing radiations in a snapping shrimp species complex (Crustacea, Alpheidae, *Alpheus armillatus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution* **50**: 268-281.
- McNeil C y J. Prenter. 2000. Differential microdistributions and interspecific interactions in coexisting native and introduced *Gammarus* spp. (Crustacea: Amphipoda). *The Zoological Society of London*, **251**:377-384.



- McRoy, C.P. y C. McMillan. 1977. Production ecology and physiology of the seagrasses. *En: C. P. McRoy y C. Hefferch (Eds.) Seagrass Ecosystems*. USA. 314 p.
- Meráz, J. 2000. Determinación de los principales decapodos asociados a vegetación sumergida en una laguna costera empleando una prueba sencilla. *Mar y Ciencia*. **4**(11): 42-44.
- Mier y Reyes, R.C., J. A. Sánchez, A. A. Granados, B. C. Alvarado, L.A. Soto y J.L. Ramos. 1997. Variación temporal de *Penaeus (Farfantepenaeus) duorarum* Burkenroad (Crustacea: Decapoda) en vegetación acuática estuarina. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. **13**: 27 p.
- Miranda-Vidal J. F., E. Barba-Macías, C. Trinidad-Ocaña y J. Juárez-Flores. 2016. Diversidad de crustáceos en la cuenca baja del río Papaloapan, Veracruz, México. *Hidrobiológica*, **26** (3): 475-482.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad, M & T – Manuales y Tesis SEA, Zaragoza. **1**: 26-43.
- Morris, L Y D. Tomasko. 1993. Proceedings and conclusions of workshops of submerged aquatic vegetation and photosynthetically active radiation. Special publication. Florida. 89-115p.
- Nelson, W. G. 1980. The biology of eelgrass (*Zostera marina* L.) amphipods. *Crustaceana*, **39**(1): 59-89.
- Ocaña-Luna, A., G. Hernández-Batún y M. Sánchez-Ramírez. 2008. Abundancia y distribución de juveniles de *Farfantepenaeus aztecus* (Ives 1891), *F. duorarum* (Burkenroad 1939) y *Litopenaeus setiferus* (Linnaeus 1767) en la Laguna Madre, Tamaulipas, México. *Hidrobiológica*, **18** (3): 199–208.
- Okolodkov, Y. B., J. A. Aké-Castillo, M. G. Gutiérrez-Quevedo, H. Pérez-España y D. Salas-Monreal. 2011. Annual cycle of the plankton biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, southMiranda western Gulf of México. pp. 1-26. *En: G. Kattel (Ed.), Zooplankton and Phytoplankton*. Nova Science Publishers, Inc.
- Okolodkov, Y.B. 2010. Biogeografía Marina. Universidad Autónoma de Campeche. 217 p.
- Ortíz, M. 1994. Clave gráfica para la identificación de familias y géneros de anfípodos del suborden Gammaridea del Atlántico Occidental Tropical. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín*. Santa Marta- Colombia, **23**: 59-101.
- Ortíz, M., R. Lalana y C. Varela. 2008. Guía ilustrada para la identificación de los camarones comerciales (Decapoda, Dendrobranchiata, Penaeoidea) de Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, **1**: 49-69.
- Ortiz-León, J. H., A. De Jesús-Navarrete y E. Sosa Cordero, 2007. Distribución espacial y temporal del cangrejo *Callinectes sapidus* (Decapoda: Portunidae) en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical*, **55**(1): 235-245.



- Pérez-Farfante, I. 1970. Diagnostic characters of juveniles of the shrimps *Penaeus aztecus aztecus*, *P. duorarum duorarum*, and *P. brasiliensis* (Crustacea, Decapoda, Penaeidae). United States Fish and Wildlife Service. *Special Scientific Report-Fisheries*, **599**: 1-18.
- Phillips, R. C. y E. G. Meñez. 1988. Seagrasses. Smithsonian Contributions in Marine Science. 34. Washington DC: Smithsonian Institution Press. 1-104 p.
- Prosser, C. 1973. Oxygen: Respiration and metabolism. Comparative Animal Physiology. Vol. 1, 3^a ed. Philadelphia. 456p.
- Ramírez-Rojas, A. 2007. Estructura y relaciones ecológicas de los invertebrados asociados a praderas de pastos marinos (*Ruppia maritima* L.) en el Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz, México. Tesis profesional de Maestría. Facultad de estudios superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 105 p.
- Rathbun, M. J. 1918. The grapsoid crabs of America. *Bulletin of the United States National Museum*. **97**:1-461.
- Raz- Guzmán, A. y L. A. Soto. 2017. Lista de especies actualizada y notas zoogeográficas de anfípodos bentónicos (Crustacea: Peracarida: Amphipoda) de dos lagunas costeras del Golfo de México Occidental. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **88**: 715-734.
- Raz-Guzmán, A. 2010. Estudio de caso: crustáceos de la laguna de Términos. En: Villalobos-Zapata, G. J., y J. Mendoza Vega (Coord.), La Biodiversidad en Campeche: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Gobierno del Estado de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche, El Colegio de la Frontera Sur. México. 730 p.
- Raz-Guzmán, A. y G. De la Lanza. 1996. Catálogo ilustrado de cangrejos braquiuros (Crustacea) de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, *Cuadernos del Instituto de Biología*, **31**: 1-52.
- Raz-Guzmán, A., A. Sánchez y L. A. Soto. 1992. Catálogo ilustrado de cangrejos braquiuros y anomuros (Crustacea) de la laguna de Alvarado, Veracruz, México. Cuaderno 14 de instituto de biología UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México. 51 p.
- Reséndez-Medina, A. 1983. Hidrología e Ictiología de la laguna de Zontecomapan, Veracruz, México. *Anales del instituto de biología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. México. Serie Zoología, **53(1)**: 385-417.
- Reyes-Barragán, M. P. y S.I. Salazar-Vallejo. 1990. Bentos asociado al pastizal de *Halodule* (Potamogetonaceae) en Laguna de La Mancha, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, **38(2A)**: 167-173.
- Reynolds LK, L.A. Carr, K.E. Boyer. 2012. A non-native amphipod consumes eelgrass inflorescences in San Francisco Bay. *Marine Ecology Progress Series*, **451**:107-118



- Ríos R. y A. Carvacho. 1982. Caridean Shrimps of the Gulf of California. New Records, with Some Remarks on Amphiamerican Distribution. *Pacific Science*; **36**: 459-65.
- Rivas, G. y A. Hoffmann. 2007. Phylum Arthropoda. pp. 254-257. En: Fernández-Álamo, M. A. y G Rivas. 2007. Niveles de organización en animales. Las prensas de ciencias. UNAM, México. 413 p.
- Rocha-Ramírez, A., S. Cházaro y M. Mueller. 1992. Ecología del género *Callinectes* (Brachyura: Portunidae) en seis cuerpos de agua costeros del estado de Veracruz, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, **19**(1): 33-41.
- Rodríguez-Varela, A., O. A. Barreto-Segura y H. Vázquez- López. 2019. Diversidad de invertebrados bentónicos del sistema lagunar de Mandinga, Veracruz, México. *Novitates Caribaea*, **14**: 128-146.
- Román-Contreras, R. y M. Martínez-Mayén. 2010. Palaemonidae (Crustacea: Decapoda: Caridea) from the shallow waters from Quintana Roo, Mexican Caribbean coast. *Revista mexicana de biodiversidad*, **81**(1): 43-51.
- Salas-Pérez, J.J. y Arenas-Fuentes, V. 2011. Winter water mass of the Veracruz Reef System. *Atmósfera*, **24**(2): 221-231.
- Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. Gonzales. 1990. Ecología costera de la región de la Mancha, Veracruz. *La Ciencia y el Hombre*, **6**: 101-120.
- Sánchez, A. J. 1997. Habitat preference of *Penaeus (F.) duorarum* (Crustacea: Decapoda) in a tropical coastal lagoon, southwest Gulf of Mexico. *Journal Experimental Marine Biology and Ecology*, **217**(1):107-117.
- Sánchez, A. J., A. Raz-Guzman y E. Barba. 1996. Habitat value of seagrasses for decapods in tropical coastal lagoons of the southwestern Gulf of Mexico: an overview. En: Kuo J., R. C. Phillips, D. I. Walker y H. Kirkman, (Eds.). *Seagrass Biology: Proceedings of an International Seagrass Workshop*, University of Western Australia. Perth, 233-240.
- Short, F., T. Carruthers, W. Dennison, M. Waycott. 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional model. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **350** (1-2): 3–20.
- Short, F.T., R.G. Coles, C. Pergent-Martini. 2001. Global seagrass distribution. pp. 5–30. En: Short, F.T., Coles, R.G. (Eds.), *Global Seagrass Research Methods*. Elsevier Science B.V, Amsterdam.
- Sotelo-Giner, F. 2015. Distribución y biomasa del pasto marino *Halodule wrightii* Ascherson en la laguna de Tampamachoco, Tuxpan, Veracruz. Tesis profesional de Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. 62 pp.
- Stevcic, Z. 1971. The main features of brachyuran evolution. *Systematic Biology* **20**:331-340
- Stoner, A. W. 1980. The role of the seagrass biomass in the organization of benthic macrofaunal assemblages. *Bulletin of Marine Science*, **30**: 537-551.



- Suárez-Caballero, J. L. 2018. Análisis de diversidad de moluscos y crustáceos en la playa rocosa de Balzapote, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, 60-63.
- Thayer, G.M., K.A. Bjorndal, J.C.Ogden, S.L. Williams y Ziemann. 1984. Role of larger herbivores in seagrass system. *Estuaries*, **50**: 201-205.
- Thayer, G.W., S.M. Adams y M.W. LaCroix. 1975. Structural and functional aspects of a recently established *Zostera marina* community. *En: Estuarine Research*. Vol. 1. Academic Press EE UU. 518-540.
- Thiel, M. e I. Hinojosa. 2009. Peracarida (amphipods, isopods, tanaidaceans & cumaceans). *En: Häussermann, V. y G. Försterra. 2009. Marine benthic fauna of Chilean Patagonia / Fauna marina bentonica de la Patagonia chilena. Puerto Montt, Chile, Nature in Focus. 671-738.*
- Valentine, J. F. y J. E. Duffy, 2006. The Central Role of Grazing in Seagrass Ecology. *En: Larkum, D.W.A., R. J. Orth y Duarte, M. C. (Eds.), Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation, Springer. 463-501.*
- Van Engel, W.A. 1958. The blue crab and its fishery in Chesapeake Bay. Reproduction, early development, growth and migration. *Commercial fishing*, **20**: 6-17.
- Van Tussenbroek, B.I., G.J. Marquez y J.G.R. Wong. 2009. Phenology of marine angiosperms (seagrasses): Reproductive synchrony in the sea. Functional Diversity of Plant Reproduction. *Research Signpost, Kerala, India. 17-46.*
- Van Tussenbroek, B.I., M. G. S. Barba, J.G.R. Wong, J.K. Dijk, M. Waycott. 2010. Guía de los pastos marinos tropicales del Atlántico oeste. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. 75 pp.
- Van Tussenbroek, B.I., V. Monroy-Velazquez, V. Solis-Weiss. 2012. Meso-fauna foraging on seagrass pollen may serve in marine zoophilous pollination. *Marine Ecology Progress Series*, **469**: 1-6.
- Varona-Cordero, F., Gutiérrez, M. F. 2003. Estudio multivariado de la fluctuación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas. *Hidrobiológica*, **13**(3): 177-194.
- Villalobos, F.A. 1959. Contribución al conocimiento de los Atyidae de México (Crustacea, Decapoda). Estudio de algunas especies del género *Potimirim* (= *Ortmania*) con descripción de una especie de Brasil. *Anales del Instituto de Biología, UNAM*, **30**: 269-330.
- Waycott, M., P. Lavery y M. McMahon. 2014. Guide to Southern Temperate Seagrasses. *CSIRO PUBLISHING*. 48-60.
- Williams, A. B. 1984. Shrimps, lobsters, and crabs of the Atlantic coast of the Eastern United States, Maine to Florida. Smithsonian Institution Press. Washington, D. C. 545 pp.
- Winfield, I. y M. Ortiz. 2003. Anfípodos: un enfoque biológico, UNAM-FES Iztacala, México, 51 pp.



- Winfield, I. y M. Ortiz. 2011. Crustáceos con bolsa incubadora (Crustacea: Malacostraca: Peracarida). pp. 277-286; Apéndice VIII-19. *En*: F. G. Lorea-Hernández, V. Hernández-Ortiz y J. M. Morales-Mavil (Eds.), La biodiversidad en Veracruz, estudio de Estado. CONABIO/ Gobierno del estado de Veracruz, México, D. F. 679 p.
- Winfield, I., E. Escobar-Briones y F. Álvarez. 2001. Crustáceos peracáridos asociados a praderas de *Ruppia maritima* (Ruppiaceae) en la laguna de Alvarado, México. *Anales del Instituto de Biología Serie Zoológica. Universidad Nacional Autónoma de México.* **72**: 29-41.
- Winfield, I., S. 1999. Peracáridos (crustacea) asociados a praderas de pastos marinos (*Ruppia maritima*) del Sistema Lagunar de Alvarado, Veracruz: un análisis ecológico espacio-temporal. Tesis profesional de Maestría. Facultad de Ciencias, División de estudios de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 80 pp.
- Winfield, I., S. Cházaro-Olvera y F. Álvarez. 2007. ¿Controla la biomasa de pastos marinos la densidad de peracaridos (Crustacea: Peracarida) en lagunas tropicales? *Revista Biológica Tropical*, **55**(1): 43-53.
- Winfield, I., S. Cházaro-Olvera, M. Ortiz y U. Palomo-Aguayo. 2011. Lista actualizada de las especies de anfípodos (Peracárida: Gammaridea y Corophiidea) marinos invasores en México. *Revista de biología marina y oceanografía*, **46**(3): 349-361.
- Winfield-Aguilar, I. C. 1987. Abundancia, distribución y estacionalidad del orden Tanaidacea (Hansen, 1895) (Crustacea: Peracarida) de la Laguna de Sontecomapan, Veracruz octubre 1982 - septiembre 1983. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales "Iztacala", Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 16-28.
- Wolvekamp, H. P. y T. H. Waterman. 1960. Respiration. *En*: The physiology of Crustacea, Vol. 1. Metabolism and growth, T. H. Waterman (Ed.). Academic Press, Nueva York, San Francisco, Londres. 35-100.
- Wong-Ala J. A. T. K., Comfort C. M., Gove J. M., Hixon M. A., Mc Manus M. A., Powell B.S., Whitney J.L. and Neuheimer A.B. 2018. How Life History Characteristics and Environmental Forcing Shape Settlement Success of Coral Reef Fishes. *Frontiers in Marine Science*, **5**:65.
- Wood, N. y P. Lavery. 2000. Monitoring seagrass ecosystem health. *Ecosystem Health*, **6**(2):134-148.
- Yaldez-Holguín, E. y Martínez-Córdoba, M. 1993. Variabilidad de algunos parámetros fisicoquímicos y productividad primaria en la laguna La Cruz, Sonora, Mexico. *Revista de Biología Tropical* **41**(2): 161-179.
- Yáñez-Arancibia, A. 1977. Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en lagunas costeras con bocas efímeras del pacífico de México. *Publicaciones especiales Centro de Ciencias del Mar y Limnología. En*: <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/especiales/1978-2/articulo455.html>. Consultado el 14 de febrero de 2021.



- Yeo D.C.J., P.K.L. Ng, N. Cumberlidge, C. Magalhães, S.R. Daniels y M.R. Campos. 2007. Global diversity of crabs (Crustacea: Decapoda: Brachyura) in freshwater. En: Balian E.V., Lévêque C., Segers H., Martens K. (Eds.) Freshwater Animal Diversity Assessment. Developments in Hydrobiology, vol 198. Springer, Dordrecht, 275-286.
- Zimmerman, R. J. y T. J. Minello. 1984. Densities of *Penaeus aztecus*, *P. setiferus* and other natant macrofauna in Texas salt marsh. *Estuaries*, 7(4A): 421-433.



ANEXO
Catálogo fotográfico

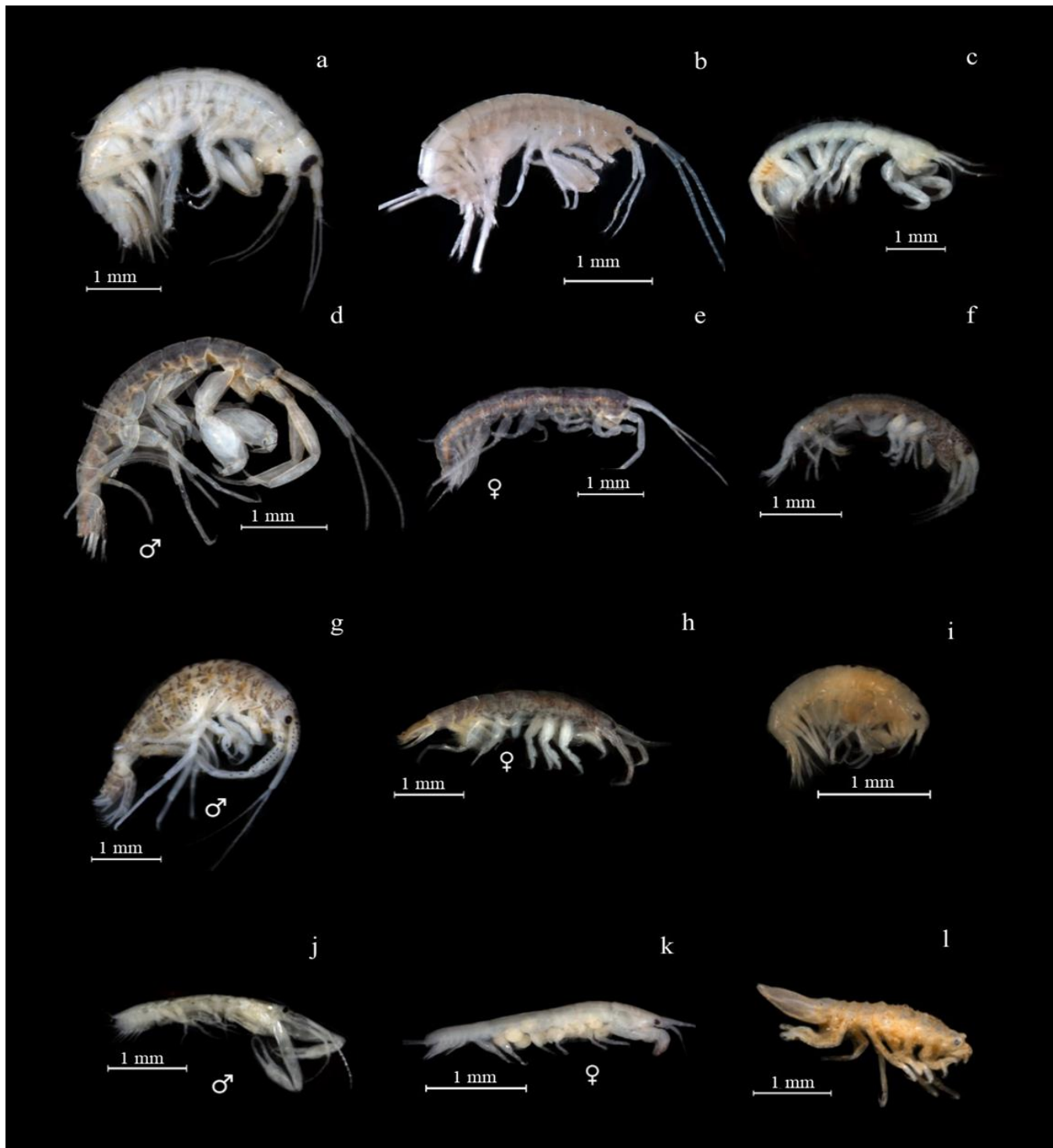


Figura 20. Peracáridos asociados a pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: a) *Gammarus mucronatus*, b) *Cymadusa compta*, c) *Discapseudes holthuisi*, d) *Grandidierella bonnieroides* (macho), e) *Grandidierella bonnieroides* (hembra), f) *Cerapus bentophilus*, g) *Apocorophium. louisianum* (macho), h) *Apocorophium louisianum* (hembra), i) *Hourstonius laguna*, j) *Chondrochelia savingyi* (macho), k) *Chondrochelia savingyi* (hembra), l) *Munna* sp.

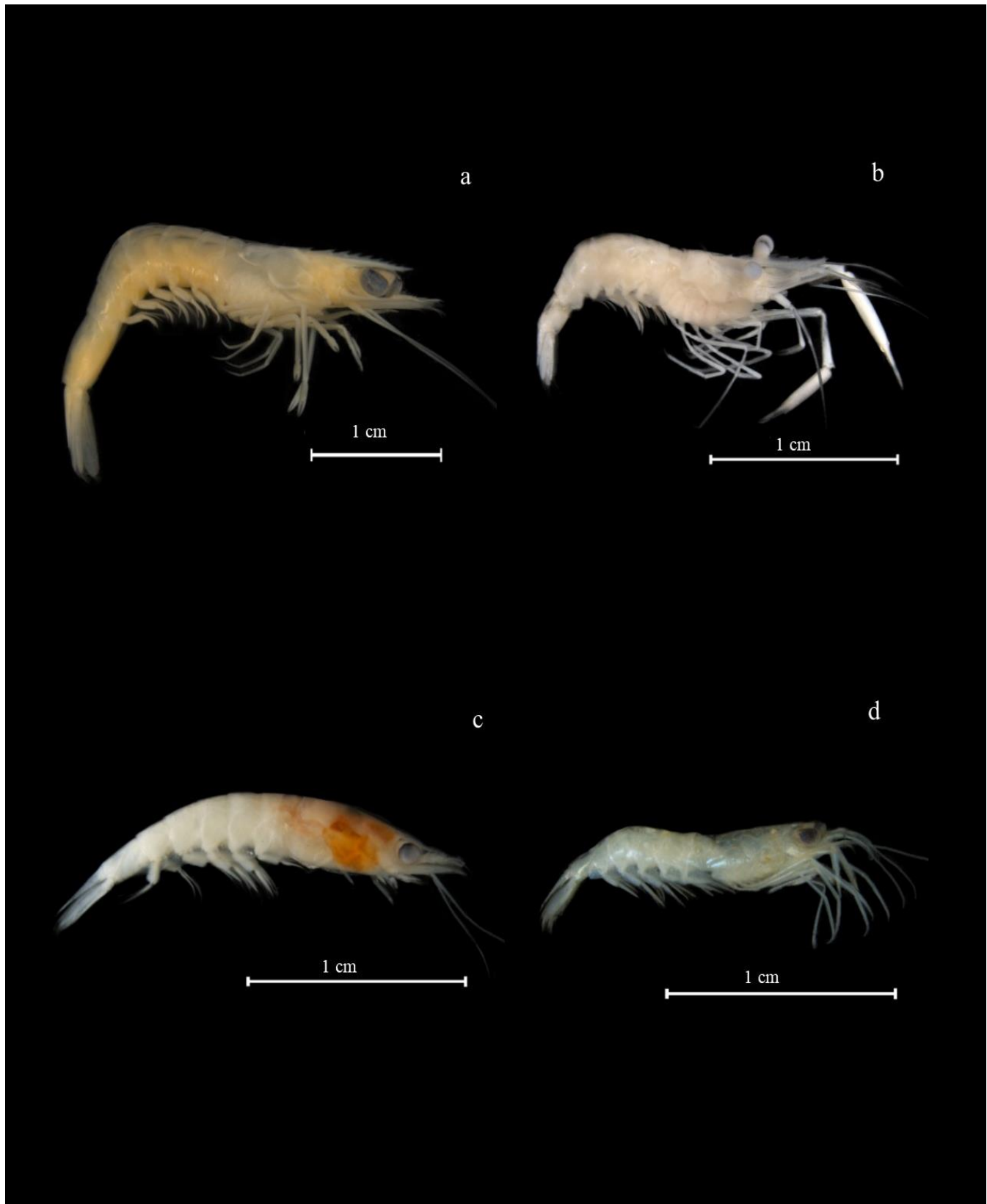


Figura 21. Camarones asociados a pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: a) *Farfantepenaeus aztecus*, b) *Cuapetes americanus*, c) *Potimirim mexicana*, d) *Ambidexter symmetricus*.

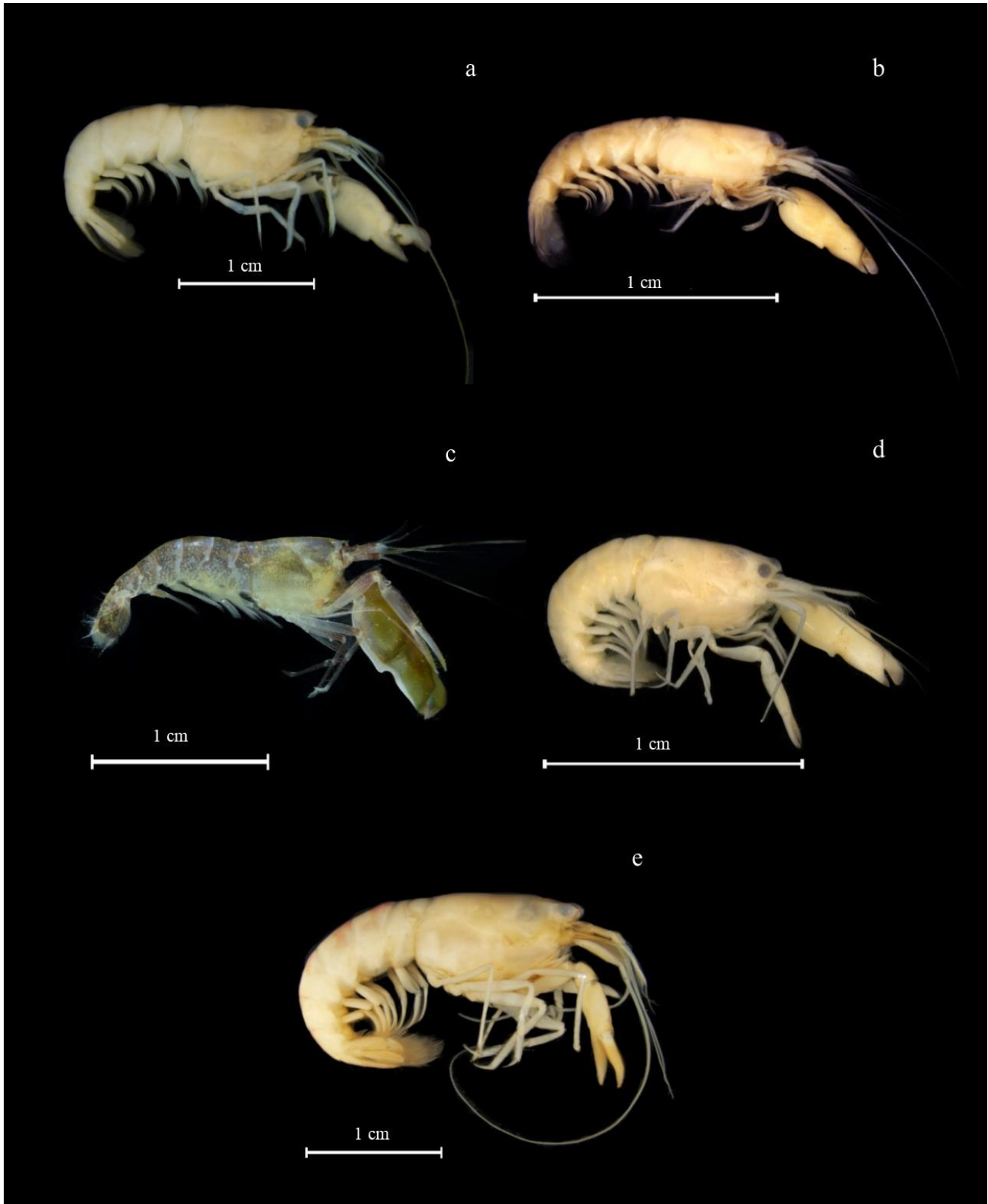


Figura 22. Camarones alfeidos asociados a pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: a) *Alpheus armillatus*, b) *Alpheus bouvieri*, c) *Alpheus estuariensis*, d) *Alpheus heterochaelis*, e) *Alpheus paracrinitus*.

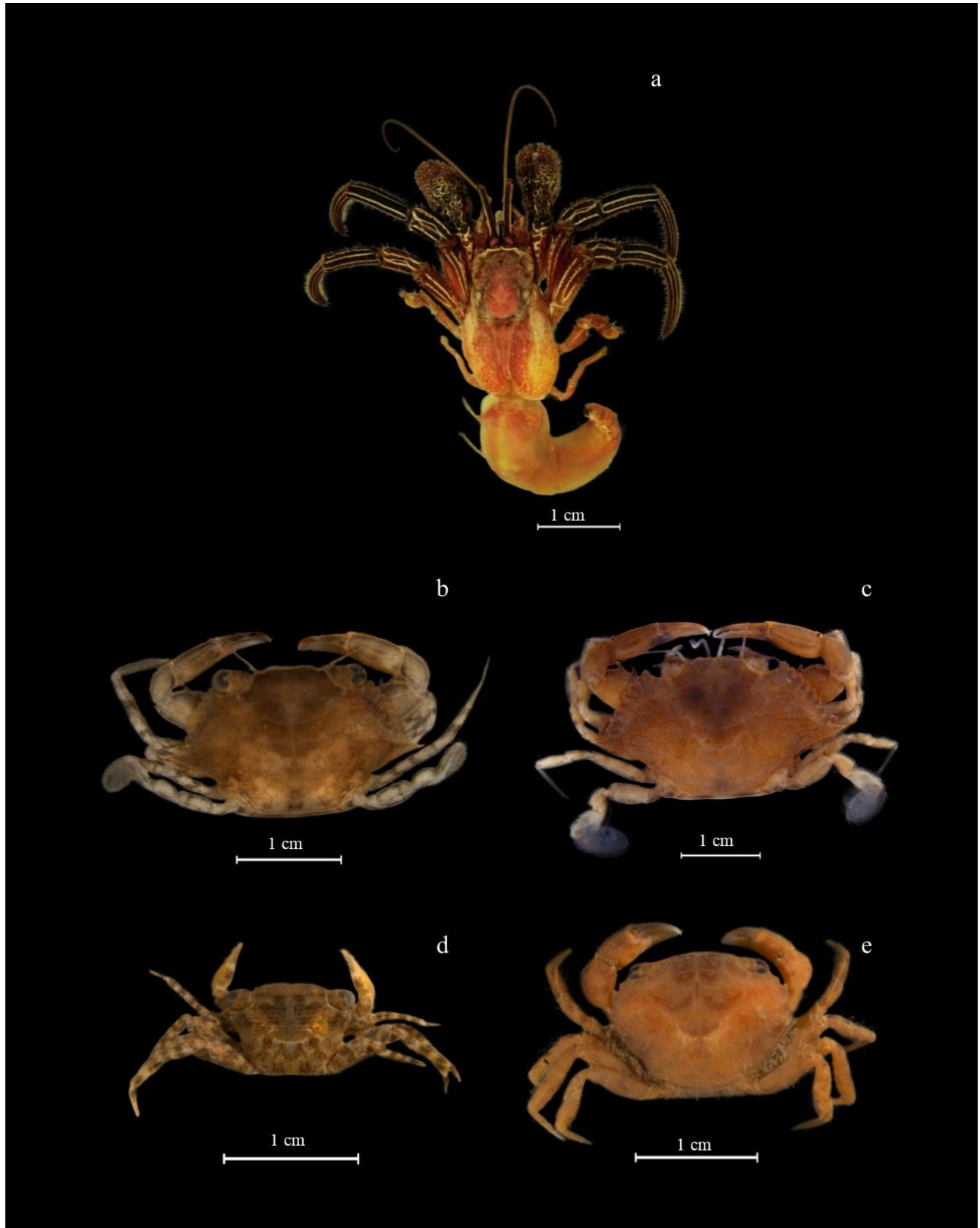


Figura 23. Cangrejos asociados a pastos marinos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz, México: a) *Clibanarius vittatus*, b) *Callinectes sapidus*, c) *Callinectes similis*, d) *Pachygrapsus gracilis*, e) *Eurypanopeus depressus*.