



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Aspectos ecológicos de la comunidad de moluscos
holoplanctónicos en las costas del Caribe mexicano**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

KARLA ZURISADAI RUBIO SANDOVAL



**DIRECTORA
M. EN C. ELIA LEMUS SANTANA
2016
CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.**



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.

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno

Rubio
Sandoval
Karla Zurisadai
54 26 84 32
Universidad Nacional Autónoma de
México
Facultad de Ciencias
Biología
309153126

2. Datos del tutor

M. en C.
Elia
Lemus
Santana

3. Datos del Sinodal 1

Dr.
Gerardo
Rivas
Lechuga

4. Datos del Sinodal 2

Dr.
Miguel Ángel
Alatorre
Mendieta

5. Datos del Sinodal 3

Dra.
Liseth Carolina
Pérez
Alvarado

6. Datos del sinodal 4

Dra.
Laura Elena
Sanvicente
Añorve

7. Datos del trabajo escrito

Aspectos ecológicos de la comunidad de moluscos holoplanctónicos en las costas del Caribe
mexicano
61 p.
2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme conocimiento, cultura y recreación a través de sus múltiples instancias; así como a los diferentes profesores que me acompañaron en este proceso y a quienes les debo mi formación académica.

Mi más sincero agradecimiento a la Maestra en Ciencias Elia Lemus Santana por la dirección de este trabajo, por compartir conmigo su conocimiento y contagiarme ese gusto por los moluscos holoplanctónicos, por el zooplancton y por la ciencia en general. Agradezco su honestidad, apoyo, confianza, comentarios y consejos que permitieron el desarrollo de la presente investigación; pero sobre todo por brindarme su valiosa amistad.

A la Doctora Laura Sanvicente Añorve quien es para mí un ejemplo a seguir en el ámbito académico, gracias por sus múltiples asesorías, por todo el tiempo que dedicó para enriquecer esta investigación, por compartirme sin medida su extenso conocimiento, por mostrar interés en mi formación académica, por su comprensión y por brindarme un espacio que fue para mí una segunda casa.

Al Doctor Miguel Ángel Alatorre Mendieta por sus correcciones y sugerencias realizadas a este trabajo, por su interés en la participación y desarrollo de este proyecto, así como por su inestimable ayuda y compañía durante el trabajo de campo.

A la Doctora Liseth Carolina Pérez Alvarado por su tiempo y observaciones, mismas que enriquecieron esta tesis, pero sobre todo por apoyarme incondicionalmente, por sus consejos y enseñanzas tanto en lo académico como en lo personal. Agradezco su confianza, su interés y su sincera amistad.

Al Doctor Gerardo Rivas Lechuga por sus atinados comentarios, correcciones, así como su tiempo y todas sus aportaciones para la culminación de esta tesis. Gracias por permitirme explorar el campo de la estadística para mejorar la comprensión de los procesos ecológicos.

A la Doctora Martha Reguero Reza y al Biólogo Armando Sosa Yañez por todos sus comentarios y sugerencias que contribuyeron de manera importante en el progreso de esta investigación y por su atento seguimiento durante mi estancia en el taller: “Taxonomía, biogeografía y ecología aplicada a los invertebrados marinos”.

Al M. en C. Faustino Zavala García por su apoyo logístico en la medición de biomasa zooplanctónica, así como por su ayuda incondicional durante el desarrollo de este trabajo.

A la Fundación Lorena Alejandra Gallardo, por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Licenciatura.

Expreso mi agradecimiento a la Armada de México, Secretaría de Marina, representada por el Almirante Marino Francisco Saynez Mendoza, por atender de manera expedita nuestras solicitudes de apoyo logístico, humano y material indispensables en los trabajos de campo.

Hago extensiva mi gratitud a la Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca y a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, instituciones que a través del Biol. David Reza y la M. en C. Mari Carmen García, nos otorgaron su encomiable ayuda y disposición para la realización de este estudio.

Y a todas aquellas personas que de alguna u otro forma colaboraron con la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre María de los Ángeles Sandoval Cuevas, quien hizo lo imposible por mi bienestar hasta el último momento. Gracias por tus sabias enseñanzas de vida, por darme esa fortaleza para seguir adelante siempre, por todos esos momentos únicos a tu lado y por todo el amor incondicional que me brindaste.

A mi tía Abigail, gracias por estar siempre para mí, por escucharme y orientarme, por ser mi ejemplo a seguir, por tu apoyo incondicional en todos los aspectos, por ser una mujer maravillosa, inteligente y fuerte. Gracias por guiarme en este proceso que apenas comienza, sé que a tu lado lograré mis objetivos.

A mis hermanos, Joel y Jonathan, gracias por ser mis protectores, mi impulso para seguir adelante siempre, para continuar preparándome día a día. Gracias por escucharme, animarme, aconsejarme y apoyarme, gracias por todo el amor, sé que a su lado seré imparable.

A mi tío Marcos y a mis abuelos María Luisa y Cruz, gracias por enseñarme que lo más valioso está en la calidad moral de la persona, por enseñarme a ser una persona responsable, honesta y que actúa “siempre por la derecha”. Les agradezco por su cariño, por escucharme y consolarme en mis momentos difíciles pero sobre todo por siempre recordarme que debo agradecer a la vida por lo que me da y me quita, porque las cosas pasan por algo.

A mi tío Josué y mi tía Martha gracias por su interés en mi bienestar personal, por alentar mi gusto por la ciencia desde que era pequeña, por regalarme mi primer microscopio con el que exploraría por primera vez las maravillas de la biología. Gracias por todos esos momentos de risa y también, por todos los consejos sabios que me dan seguridad.

A mis primos: Pamela, Emiliano y Camilo, espero que este trabajo algún día los aliente u oriente para seguir preparándose académicamente, gracias por tantas alegrías, por tanto cariño y por toda esa energía positiva con la que me cargo cada que paso un momento con ustedes.

A Baruch gracias por acompañarme y apoyarme en esta etapa de mi vida, gracias por todos esos consejos valiosos que me permitieron actuar asertivamente, gracias por tu cariño y por todas esas frases de motivación que me impulsan a seguir adelante hasta alcanzar mis sueños. Gracias por ayudarme a confiar en mí y ser una mejor persona.

A mis amigos del CCH Ivan y Josselyn, que aunque ha pasado el tiempo y nos hemos distanciado, aún seguimos apoyándonos para cumplir todos nuestros sueños.

A Ilse, gracias por escucharme y siempre tener un consejo para mí, gracias por el cariño y apoyo con la edición del apéndice, por confiar en mí y alentarme a seguir adelante.

A mis amigos y compañeros del Taller: Rodrigo, Diego, Santiago, Eduardo y Pamela, gracias por acompañarme en mis momentos de estrés y siempre encontrar la manera de hacerme sonreír. Gracias por todo el apoyo y retroalimentación académica que recibí por parte de ustedes. Sé que todos llegaremos tan lejos como nos lo propongamos.

A Julienne Gallardo, gracias por permitirme formar parte de la gran familia FLAG, por todo el invaluable cariño, por el interés en mi desarrollo personal y profesional, por todas esas charlas mensuales en las cuales encontraba un motivo para seguir siendo una mujer fuerte que forja su destino. Gracias por el apoyo moral y económico, por todos los momentos felices e inolvidables que me brindó la fundación, por reforzar mi idea de que “siempre terminamos llegando al lugar donde nos esperan”.

Finalmente, dedico mi tesis a mis mentores académicos: M. en C. Elia Lemus Santana, Dra. Laura Sanvicente Añorve, Dra. Liseth Pérez Alvarado y Dr. Frank Raúl Gío Argáez con quienes adquirí conocimientos invaluable tanto en el ámbito personal como profesional, me sentiré realizada si algún día llego a ser una investigadora tan capaz como todos ustedes.

ÍNDICE

Pág.

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| OBJETIVOS..... | 4 |
| General | 4 |
| Particulares..... | 4 |
| ANTECEDENTES..... | 5 |
| ÁREA DE ESTUDIO..... | 7 |
| MATERIALES Y MÉTODO..... | 10 |
| RESULTADOS | 13 |
| Hidrología | 13 |
| Biomasa zooplanctónica y densidad de moluscos holoplanctónicos..... | 16 |
| Composición específica | 19 |
| Distribución y abundancia de las especies..... | 22 |
| Factores ambientales que influyen en la distribución de los moluscos holoplanctónicos en las costas de Majahual..... | 38 |
| DISCUSIÓN | 40 |
| Hidrología | 40 |
| Biomasa zooplanctónica y densidad de moluscos holoplanctónicos..... | 16 |
| Composición específica | 19 |
| Distribución y abundancia de las especies..... | 44 |
| Factores ambientales que influyen en la distribución de los moluscos holoplanctónicos en las costas de Majahual..... | 47 |
| CONCLUSIONES..... | 48 |
| LITERARURA CITADA..... | 49 |
| APÉNDICE..... | 56 |

RESUMEN

Se analizó la composición, abundancia y distribución de los moluscos holoplanctónicos, incluyendo su relación con ciertos parámetros ambientales seleccionados de tres localidades del Caribe mexicano: Cozumel, Punta Allen y Majahual. Los muestreos de zooplancton se efectuaron en abril del 2008 mediante arrastres superficiales con dos redes cónicas de apertura de malla de 333 y 505 μm , a bordo de una lancha con motor fuera de borda a una velocidad aproximada de 2 - 3 nudos. En total se muestrearon 45 estaciones ubicadas en transectos cercanos a la línea de costa y se registró la salinidad y la temperatura en la capa superficial de cada estación. En el laboratorio se cuantificó la biomasa zooplanctónica mediante el método de peso húmedo; esta medida de biomasa se ocupó para estimar de manera indirecta la disponibilidad de alimento. Se separaron e identificaron los moluscos de cada muestra y los datos de abundancia se estandarizaron a 100 m^3 de agua filtrada. Se recolectaron e identificaron 471 individuos representados en cinco familias, seis géneros y ocho especies. Las especies más abundantes fueron *Creseis clava* y *Limacina inflata*, las cuales representaron el 42.3% y 21.4% de la abundancia total, respectivamente. Estas especies se caracterizan por su afinidad nerítica, zona en donde suelen presentar abundancias elevadas (>300 ind/100 m^3). Se registró por primera vez la especie *Atlanta lesueurii* en aguas del Caribe mexicano. En aguas del Atlántico mexicano, esta especie sólo ha sido observada al sur del Golfo de México. Para evaluar esta relación, se aplicó un Análisis de Regresión por Árboles. Este procedimiento reveló que la temperatura y la disponibilidad de alimento (biomasa) son los factores que más influyen sobre la abundancia y distribución de estos moluscos. Los resultados de este análisis son congruentes con la sensibilidad de estos organismos a los cambios de la temperatura y de la productividad del ambiente, registrados en otras áreas costeras.

INTRODUCCIÓN

Los moluscos holoplanctónicos son animales marinos que presentan diversas características estructurales que les han permitido adaptarse al ambiente pelágico. Las características más relevantes son: la reducción en el tamaño corporal, modificaciones en el peso de la concha e incluso la pérdida de esta estructura, la presencia de un pie lateralmente comprimido con forma de alas, así como la tendencia de la concha y el cuerpo a ser transparentes (Lalli y Gilmer, 1989).

Estos moluscos se incluyen en la clase Gastropoda, dentro de los órdenes Littorinimorpha y Thecosomata, comúnmente conocidos como heterópodos y pterópodos respectivamente, nombres que hacen alusión a la modificación del pie (Lalli y Gilmer, 1989). En el orden Littorinimorpha se encuentra la superfamilia Pterotracheoidea con dos familias Atlantidae (organismos con concha) y Pterotracheidae (concha reducida), ambas familias se integran por moluscos que se caracterizan por poseer ojos muy desarrollados de color opaco, mientras que los cuerpos y las conchas son alargados y transparentes (Apéndice: Figura 1A) (Richter y Seapy, 1999). En la cadena trófica, los heterópodos son depredadores, se alimentan de salpas, pequeños crustáceos, larvas de peces y de otros moluscos holoplanctónicos; la captura se realiza con el auxilio de una proboscis muscular armada con una rádula bien desarrollada (Lalli y Gilmer, 1989; van der Spoel, 1996a; Ruggieron *et al.*, 2015).

Por otra parte, el orden Thecosomata está integrado por las superfamilias Limacinoidea y Cavolinioidea en las que se agrupan los moluscos holoplanctónicos que presentan conchas externas de peso reducido con formas dorsoventralmente rectas, ligeramente curvadas o espiraladas (Apéndice: Figura 1B y C). Los thecosomados son los únicos moluscos planctónicos que han desarrollado un tipo de alimentación en el que se emplean redes de mucosa acompañadas de actividad ciliar para capturar fitoplancton (Lalli y Gilmer, 1989; van der Spoel, 1996b). En general, tanto pterópodos como heterópodos son depredados por peces, ballenas, tortugas marinas, medusas y aves (van der Spoel y Boltovskoy, 1981).

Estos moluscos pelágicos se distribuyen ampliamente en todos los ambientes marinos, de los polos al ecuador, de las aguas costeras a las oceánicas y de la superficie a la zona batipelágica (van der Spoel, 1996b; van der Spoel y Dadon, 1999). Se ha documentado que

los moluscos holoplanctónicos muestran migraciones verticales, se alimentan en el periodo nocturno cerca de la superficie y migran hacia el fondo con el amanecer, de manera que pueden estar a grandes profundidades durante el día. Sin embargo, en algunas especies se ha registrado una migración invertida, donde se observa su presencia en aguas superficiales durante las horas de luz (van der Spoel y Boltovskoy, 1981; van der Spoel, 1996b). En consecuencia, estos moluscos son importantes vectores de contaminación, ya que trasportan los contaminantes de la superficie en forma adherida o ingerida a las profundidades (van der Spoel y Boltovskoy, 1981).

Van der Spoel (1996b) menciona que los moluscos holoplanctónicos son considerados bioindicadores ya que en sus patrones de distribución son visibles los efectos de las corrientes, de las masas de agua y del clima.

En las costas del Caribe Mexicano los trabajos especializados en el estudio de los moluscos holoplanctónicos son escasos, y todos ellos se basan principalmente en el análisis de su distribución y abundancia sin tomar en cuenta la relación de la distribución de los organismos con los parámetros ambientales (Gasca, 1992; Gasca y Suárez-Morales, 1992; Suárez, 1994; González, 1998; Suárez-Morales y Gasca, 1998; Castellanos y Suárez-Morales, 2001; Parra-Flores y Gasca, 2009). Con la finalidad de profundizar en el conocimiento de este importante grupo y analizar su respuesta ante los parámetros ambientales, en el presente trabajo de tesis se han planteado los siguientes objetivos:

OBJETIVOS

General

Analizar la composición, abundancia y distribución de los moluscos holoplanctónicos en el Caribe mexicano frente a las costas de tres localidades (Cozumel, Punta Allen, Majahual) y establecer su relación con ciertos parámetros ambientales seleccionados.

Particulares

- Cuantificar y analizar la distribución de la biomasa zooplanctónica en las costas de las localidades Cozumel, Punta Allen y Majahual.
- Determinar la composición, abundancia y distribución de los moluscos holoplanctónicos en las costas del Caribe mexicano.
- Analizar la influencia que tienen los factores ambientales (temperatura, salinidad y disponibilidad de alimento) sobre la densidad y distribución de los moluscos holoplanctónicos.

ANTECEDENTES

Los trabajos sobre los moluscos holoplanctónicos realizados en las costas mexicanas son escasos. Entre los estudios pioneros están el de Leal (1965), quien examinó la distribución y abundancia de los pterópodos en los arrecifes de Veracruz, el de Matsubara-Oda (1975), quien analizó la distribución de los tecosomados y sus relaciones ambientales en la Bahía de Campeche y el de Pérez-Rodríguez (1980), quien mencionó la presencia de algunas especies de moluscos pelágicos en el Golfo de México y Caribe mexicano.

Posteriormente, Gasca (1992) estudió la distribución y abundancia de los moluscos holoplanctónicos de la Bahía de la Ascensión en Quintana Roo; Suárez (1994) realizó un estudio detallado sobre la composición y distribución de los pterópodos en el Golfo de México y zonas adyacentes; Suárez-Morales y Gasca (1998) recopilaron a las especies de pterópodos en el Caribe mexicano, y en el mismo año González (1998) realizó un listado faunístico de los moluscos de la expedición R/V *Edwin Link* en las costas del Caribe mexicano en donde incluyó algunas especies de moluscos holoplanctónicos.

Otras contribuciones al conocimiento de estos organismos fueron las de Castellanos y Suárez-Morales (2001), quienes ampliaron el escaso conocimiento de los heterópodos en el Golfo de México y el Caribe occidental; Parra-Flores y Gasca (2009) estudiaron la distribución de los pterópodos en aguas superficiales (0-100 m) del Caribe; Sanvicente-Añorve *et al.* (2013) analizaron la segregación espacial de los moluscos holoplanctónicos del sur del Golfo de México y observaron que la distribución de los adultos en la columna de agua se traslapan más que las de los juveniles, lo que sugiere que los adultos tienen una preferencia espacial por áreas de desove; Lemus-Santana *et al.* (2014a, 2014b) documentaron la distribución vertical y horizontal de los moluscos holoplanctónicos en aguas neríticas del Golfo de México y además presentaron una descripción detallada de su distribución global.

En lo referente al Pacífico mexicano, Angulo-Campillo *et al.* (2011) analizaron la composición taxonómica de los moluscos holoplanctónicos en el Golfo de California y Moreno-Alcántara *et al.* (2014) registraron las especies de heterópodos, pterópodos y gimnosomados del Golfo de Tehuantepec.

Es importante señalar que la mayor parte de los trabajos ecológicos que se realizan hacen referencia a los aspectos de distribución y abundancia de estos moluscos en distintos ambientes, estratos y escalas espaciales, pero pocos refieren la relación de estos parámetros

con los factores ambientales. Algunos ejemplos los constituyen los estudios de Lischka, *et al.* (2011), quienes analizaron el impacto de la acidificación del océano y de las temperaturas elevadas en el pterópodo *Limacina helicina* en el océano Ártico; Wall-Palmer *et al.* (2012) estudiaron la variación en la calcificación de concha de los pterópodos dependiente de la saturación del carbono en el ambiente y Cruz (2012) analizó la distribución y abundancia de los pterópodos y heterópodos en la costa ecuatoriana e incluyen un análisis de los intervalos de tolerancia de temperatura y salinidad de estos moluscos.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la península de Yucatán entre los 18° 42' - 20° 34' N y los 86° 26' - 87° 42' W, frente a tres localidades, que de norte a sur estas son: Cozumel, Punta Allen y Majahual (Figura 1).

De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1973), en la península de Yucatán predomina un clima cálido subhúmedo (Aw). La precipitación en esta zona decrece de 1,500 mm en el sur a 500 mm en el noroeste (García, 2003). La temperatura superficial promedio del Caribe mexicano oscila entre 27 y 28 °C, aunque en la zona arrecifal localizada frente a la porción central de Quintana Roo, los registros son variables (25 - 31 °C), con promedios menores en febrero (26 °C) y mayores en junio y en julio (31 °C). De acuerdo a los registros de viento, se reconoce que durante invierno los vientos dominantes provienen del norte y el resto del año, del sureste (Suárez-Morales y Rivera-Arriaga, 1998).

Una particularidad de la península de Yucatán es que, por su naturaleza kárstica, carece de escorrentía superficial; además los ríos son escasos, por lo tanto, no existe una influencia continental significativa sobre la salinidad en la región, incluso muy cerca de la costa (Merino y Otero, 1991). Así las aguas superficiales registran salinidades promedio de 36 hasta una profundidad de 30 - 50 m y por debajo de esta zona se encuentran aguas con salinidades alrededor de 37 (Merino y Otero, 1991; Suárez-Morales y Rivera-Arriaga, 1998).

La zona litoral está fuertemente influida por la Corriente de Yucatán. Esta corriente domina el esquema de circulación a lo largo del Caribe mexicano (Ochoa *et al.*, 2001) y fluye desde el sur de la isla de Cozumel, atraviesa el canal de Yucatán para entrar posteriormente al Golfo de México donde se convierte en la Corriente del Lazo (Athié *et al.*, 2011).

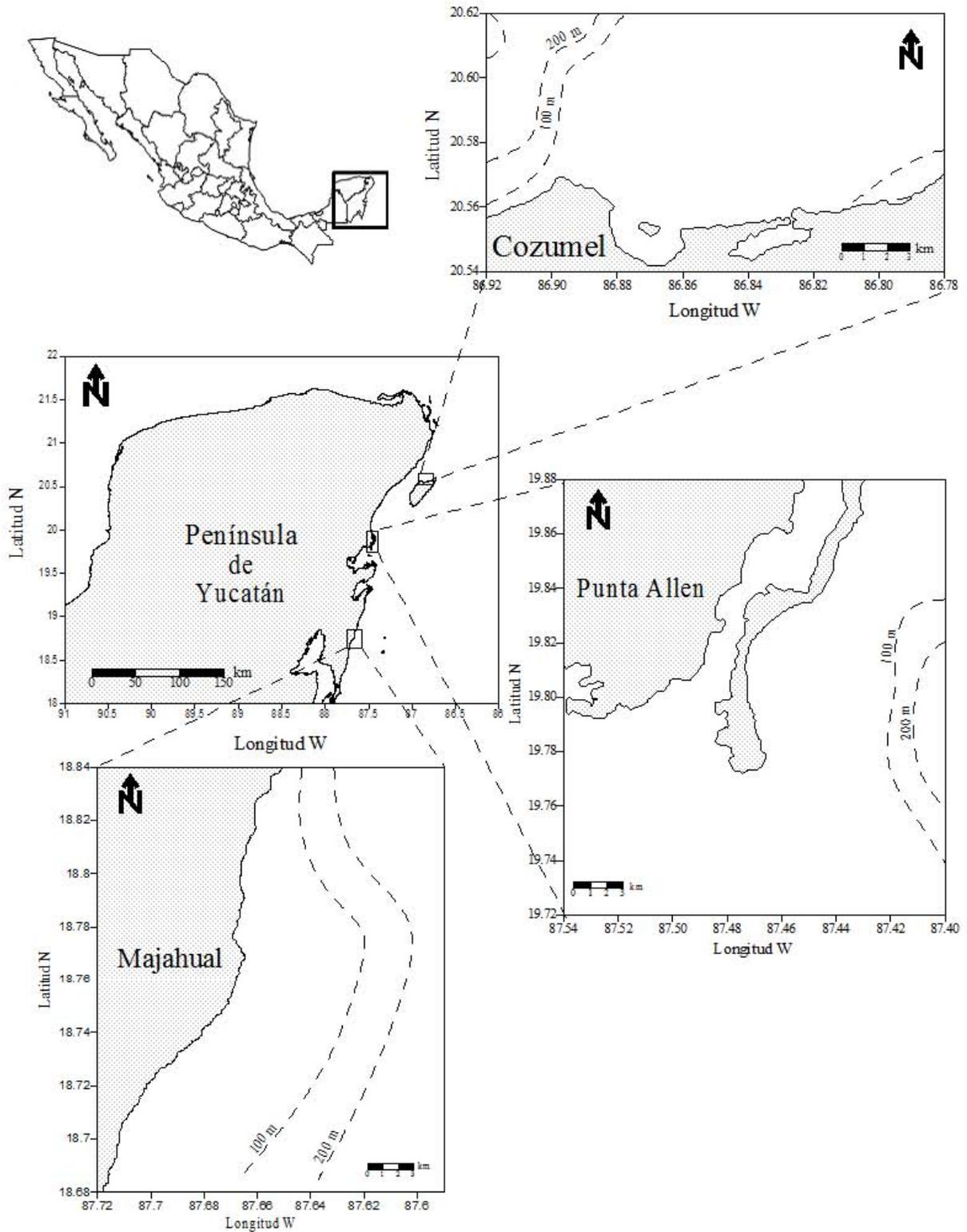


Figura 1. Ubicación de las localidades de estudio frente a las costas del Caribe mexicano.

A continuación se presenta una breve descripción de las tres localidades de estudio:

Cozumel

La localidad de Cozumel se encuentra entre los 20°32' - 20°34'N y los 86°48' - 86°55'W frente a la costa norte de la isla Cozumel, que se localiza al noroeste de la Península de Yucatán (Figura 1). Cozumel es una isla alargada de 46 km de largo y 16 km de ancho. Esta isla está influida por la Corriente de Yucatán, que mantiene un flujo continuo de agua de sur a norte (Chávez *et al.*, 2003). La temperatura superficial del agua fluctúa entre 23° y 30 °C, en tanto que la salinidad promedio es de 34.5 (Álvarez-Filip *et al.*, 2009).

Punta Allen

La segunda localidad se ubica entre los 19°44' - 19°50'N y los 87°26' - 87°28'W en el extremo norte del frente oceánico de la Bahía de Ascensión (Figura 1), cuya superficie aproximada es de 740 km² y su profundidad oscila entre 2.7 y 3.5 m. El frente oceánico de esta bahía permite que exista interacción con las aguas neríticas adyacentes (Espejel-Montes, 1983). En Punta Allen la temperatura superficial varía de 23 a 31 °C, en tanto que la salinidad fluctúa entre 35 y 36 (Jordán-Dahlgren *et al.*, 1994).

Majahual

Se localiza entre los 18°49' - 18°42'N y los 87°35' - 87°43'W (Figura 1). Esta localidad forma parte de la gran barrera arrecifal del Caribe mexicano y presenta una plataforma continental estrecha (Merino y Otero, 1991; Castellanos-Osorio y Suárez-Morales, 1997). El arrecife de Majahual cuenta con 3,600 m² de extensión y se caracteriza por presentar una laguna arrecifal somera (1.5 m), de sustrato arenoso que suele estar cubierto por pastos marinos (Aguilar, 1998). Suárez-Morales y Rivera-Arriaga (1998) mencionan que la temperatura superficial puede alcanzar los 30 °C y descender hasta los 21 °C, dependiendo de la época del año, mientras que la salinidad fluctúa de 32 a 36.

MATERIAL Y MÉTODOS

Trabajo de campo

Se realizaron recolectas de zooplancton del 12 al 24 de abril de 2008 en la costa del Caribe mexicano frente a tres localidades: Cozumel, Punta Allen y Majahual.

Se recolectaron 90 muestras distribuidas en 45 estaciones de muestreo. En Majahual se muestrearon 33 estaciones en total, en Cozumel y Punta Allen 6 estaciones en cada localidad (Figura 2).

El muestreo de zooplancton se realizó utilizando redes cónicas de 50 cm de diámetro en su boca, una de ellas con una luz de malla de 333 μm y la otra con una luz de 505 μm . A cada red se le colocó un flujómetro calibrado con el fin de estimar el volumen de agua filtrada.

Los arrastres describieron trayectorias circulares durante 10 minutos en una lancha con motor fuera de borda a una velocidad aproximada de 3 nudos. Las muestras obtenidas se fijaron con una solución de formaldehído al 4% neutralizado con borato de sodio y agua de mar.

Adicionalmente, en cada estación se tomó registro de la profundidad con una ecosonda manual modelo SM-5 con una resolución de ± 1 m, se midió la temperatura y salinidad del agua mediante un salinómetro-conductímetro YSI 85.

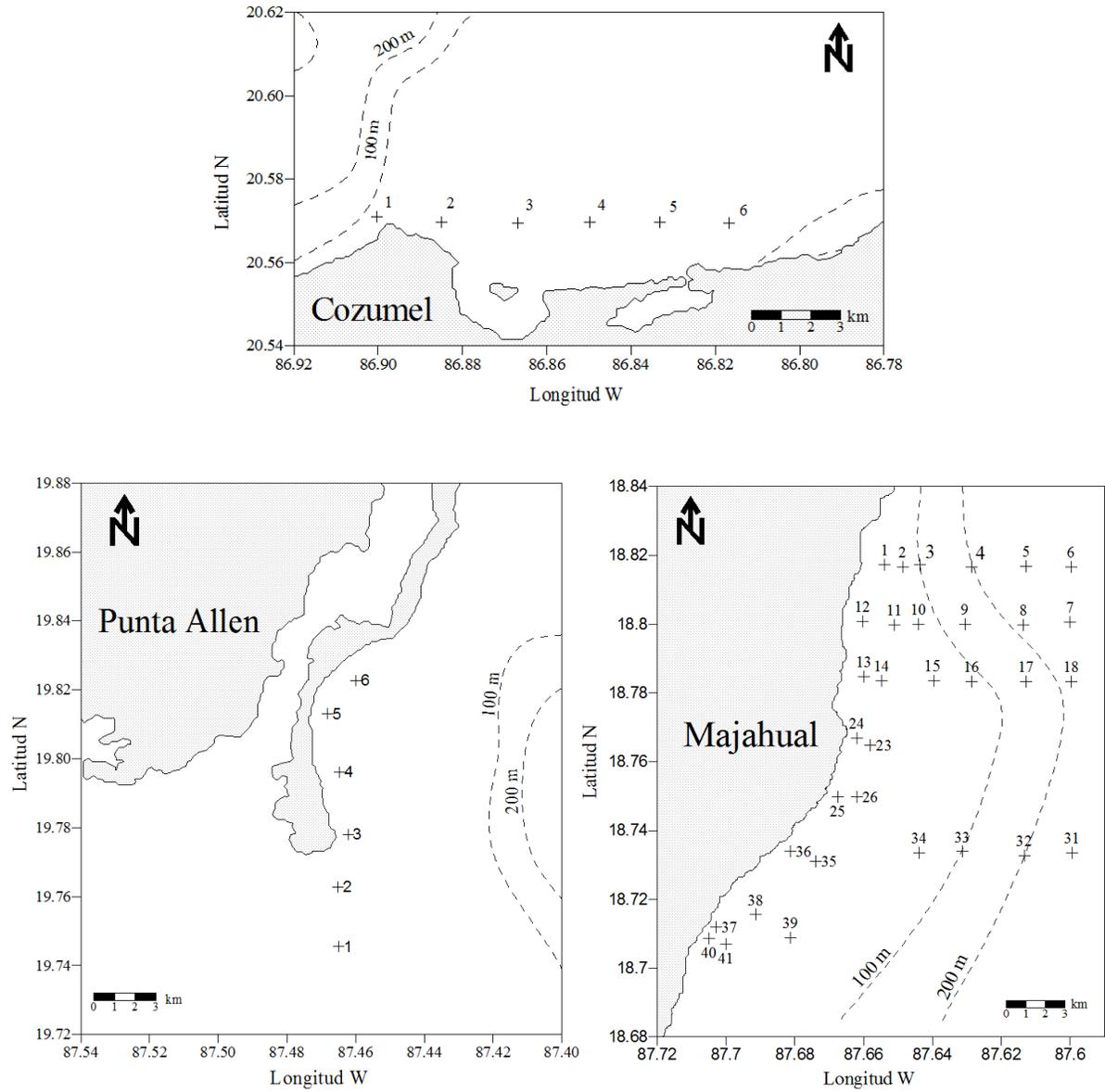


Figura 2. Estaciones de muestreo frente a las costas del Caribe mexicano. Abril de 2008.

Trabajo de laboratorio y gabinete

Para tener una aproximación de la disponibilidad de alimento para los moluscos holoplanctónicos, se cuantificó la biomasa zooplanctónica en peso húmedo utilizando las muestras recolectadas con la malla de 333 μm . El proceso consistió en extraer el excedente de agua mediante un sistema de filtrado, y después, pesar la muestra. Finalmente, los registros de peso obtenidos fueron estandarizados a 100 m^3 de agua filtrada.

De cada una de las 90 muestras de zooplancton se extrajeron todos los moluscos holoplanctónicos utilizando un microscopio estereoscópico Leica MZ 7s. Una vez separados se realizó la identificación taxonómica con ayuda de literatura especializada (van der Spoel y Boltovskoy, 1981; Lalli y Gilmer, 1989; Richter y Seapy, 1999; Ruggieron *et al.*, 2015). Los conteos de cada taxón se estandarizaron a 100 m^3 de agua filtrada. Se elaboraron mapas de distribución y se establecieron cinco categorías de abundancia (ind/100 m^3):

| | | |
|-----------|---|----------|
| Ausente | + | 0 |
| Mínima | ○ | < 2 |
| Escasa | ⊕ | (2 - 5] |
| Frecuente | ● | (5 - 12] |
| Abundante | ● | > 12 |

Para evaluar la influencia que tienen los factores ambientales (disponibilidad de alimento, salinidad y temperatura) sobre la distribución de los moluscos holoplanctónicos, se aplicó un Análisis de Regresión por Árboles (ARA) utilizando el programa S-PLUS 2000. El Análisis de Regresión por Árboles sólo fue aplicado en las estaciones ubicadas frente a la costa de Majahual, debido a que en esta localidad hubo una mayor cobertura de muestreo. El Análisis de Regresión por Árboles consiste en la construcción de dendrogramas o ‘árboles’ a partir de un conjunto de variables independientes (parámetros ambientales), de modo que se maximice la asociación de la variable dependiente (densidad de moluscos holoplanctónicos). Este método divide los datos de la variable dependiente para dar lugar a una separación de dos grupos, avanzando así en pasos sucesivos a lo largo del árbol hasta llegar a una última clasificación (Breiman *et al.*, 1984).

RESULTADOS

Hidrología

Temperatura

La temperatura superficial del agua presentó variaciones en las tres localidades de estudio desde 24.6 hasta 30.6 °C (Tabla 1). La temperatura promedio más elevada se registró en Majahual ($\bar{x} = 27.4$ °C), en contraste, en Punta Allen se observaron las temperaturas más bajas ($\bar{x} = 25.8$ °C) (Figura 3; Tabla 1).

Salinidad

En toda el área de estudio la salinidad fluctuó entre 36.2 y 37.2. La salinidad superficial promedio más elevada se registró en Cozumel ($\bar{x} = 37.0$) (Tabla 1), en tanto que en la parte sur de Punta Allen, se registró el valor más bajo de salinidad (36.2) (Figura 4).

Tabla 1. Valores promedio e intervalos de temperatura (°C) y salinidad registrados en las localidades de estudio en el Caribe mexicano en abril de 2008.

| Parámetro | Cozumel | | | Punta Allen | | | Majahual | | |
|-------------|----------|-----------|---------------|-------------|-----------|---------------|----------|-----------|---------------|
| | <i>n</i> | \bar{x} | Intervalo | <i>n</i> | \bar{x} | Intervalo | <i>n</i> | \bar{x} | Intervalo |
| Temperatura | 6 | 27.2 | (26.3 - 28.1) | 6 | 25.8 | (24.6 - 27.7) | 33 | 27.4 | (25.5 - 30.6) |
| Salinidad | 6 | 37.0 | (36.8 - 37.2) | 6 | 36.9 | (36.2 - 37.0) | 33 | 36.8 | (36.7 - 37.0) |

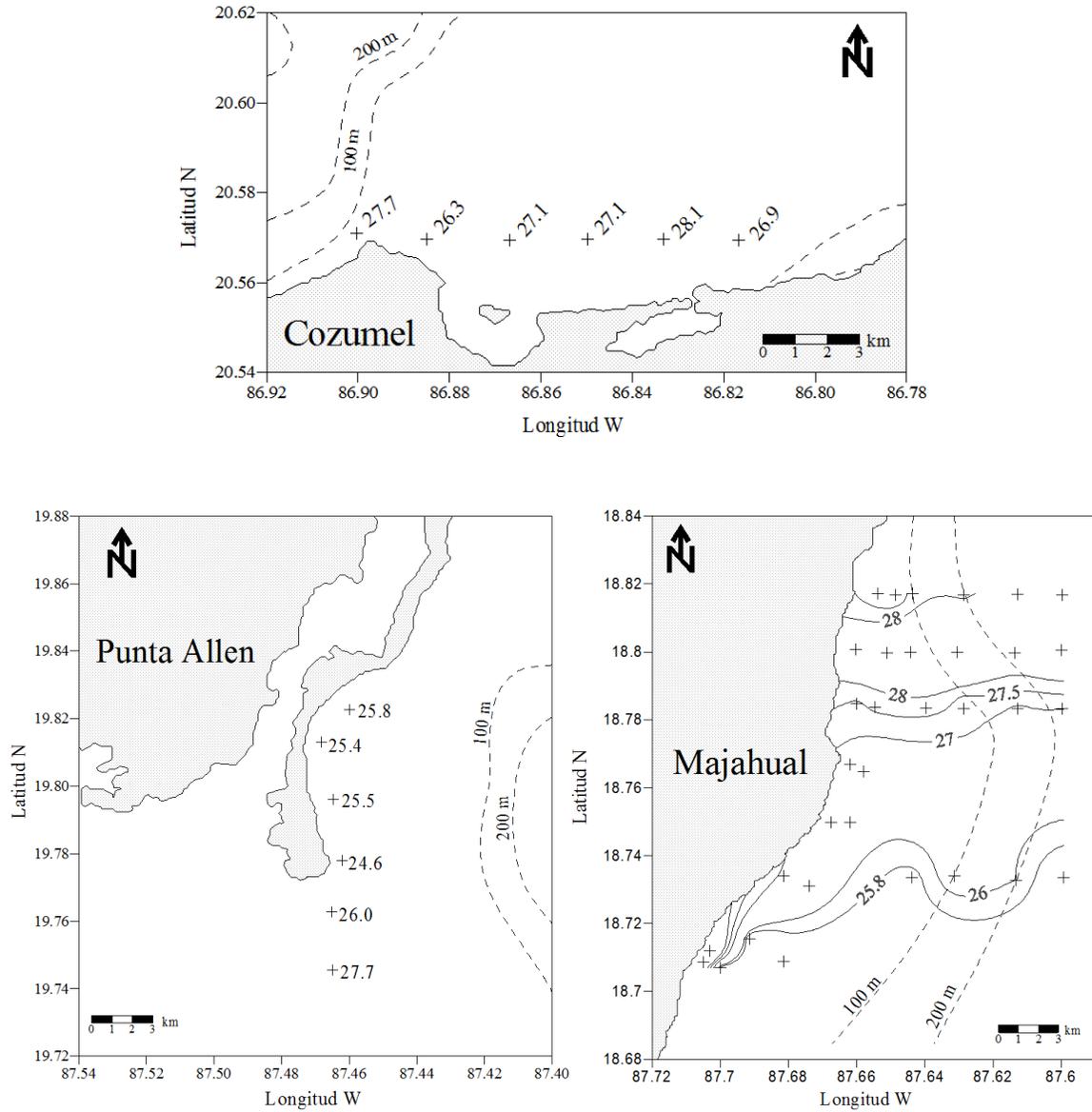


Figura 3. Isolíneas de temperatura superficial registradas en abril de 2008 frente a las costas de Cozumel, Punta Allen y Majahual en el Caribe mexicano.

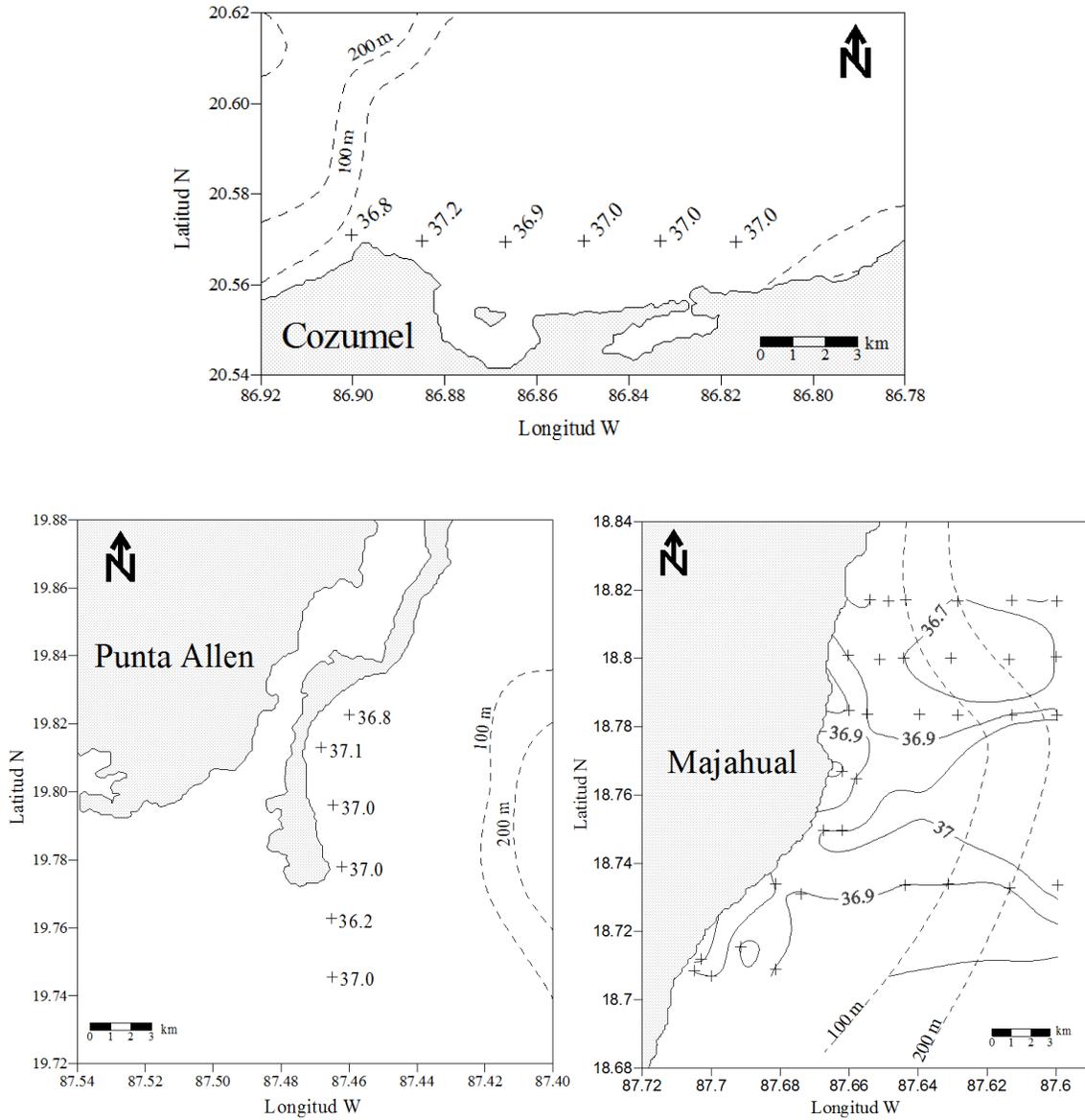


Figura 4. Isolíneas de salinidad superficial registradas en abril de 2008 frente a las costas de Cozumel, Punta Allen y Majahual en el Caribe mexicano.

Biomasa zooplanctónica y densidad de moluscos holoplanctónicos

La biomasa zooplanctónica presentó valores que fluctuaron entre 0.02 y 7.51 g/100 m³ (Tabla 2). Las concentraciones mayores se ubicaron principalmente en Punta Allen, seguida por ciertas estaciones cercanas a la costa de Majahual. Los valores menores se registraron en algunos sitios de muestreo distantes a las costas de esta misma localidad y en Cozumel (Figura 5).

En cuanto a la densidad de moluscos holoplanctónicos, se observó que el sitio con mayor cantidad de individuos fue Majahual ($\bar{x} = 8.99$ ind/100 m³) (Tabla 2). En general, Cozumel y Punta Allen mostraron poca representación de estos organismos, siendo esta última localidad la que presentó la densidad promedio menor ($\bar{x} = 0.24$ ind/100 m³) (Tabla 2).

Tabla 2. Biomasa y densidad de moluscos holoplanctónicos en las localidades de estudio en el Caribe mexicano en abril de 2008. Biomasa (g/100 m³), densidad (ind/100 m³), valor promedio (\bar{x}).

| Localidad | Biomasa | | Densidad de moluscos holoplanctónicos | |
|------------------|-----------------------------|------------------|--|------------------|
| | \bar{x} | Intervalo | \bar{x} | Intervalo |
| Cozumel | 0.87 | (0.15 - 3.04) | 0.46 | (0.00 - 7.27) |
| Punta Allen | 3.40 | (1.96 - 6.30) | 0.24 | (0.00 - 0.75) |
| Majahual | 1.21 | (0.02 - 7.51) | 8.99 | (0.00 - 68.05) |

Cabe mencionar que la distribución de moluscos holoplanctónicos no presentó un patrón definido en la costa de Cozumel; en Punta Allen está restringida a dos estaciones localizadas en la parte central de la zona de estudio y en Majahual se observó una distribución más concentrada en los sitios de muestreo cercanos a la línea de costa, semejante a lo observado en la biomasa zooplanctónica (Figura 6).

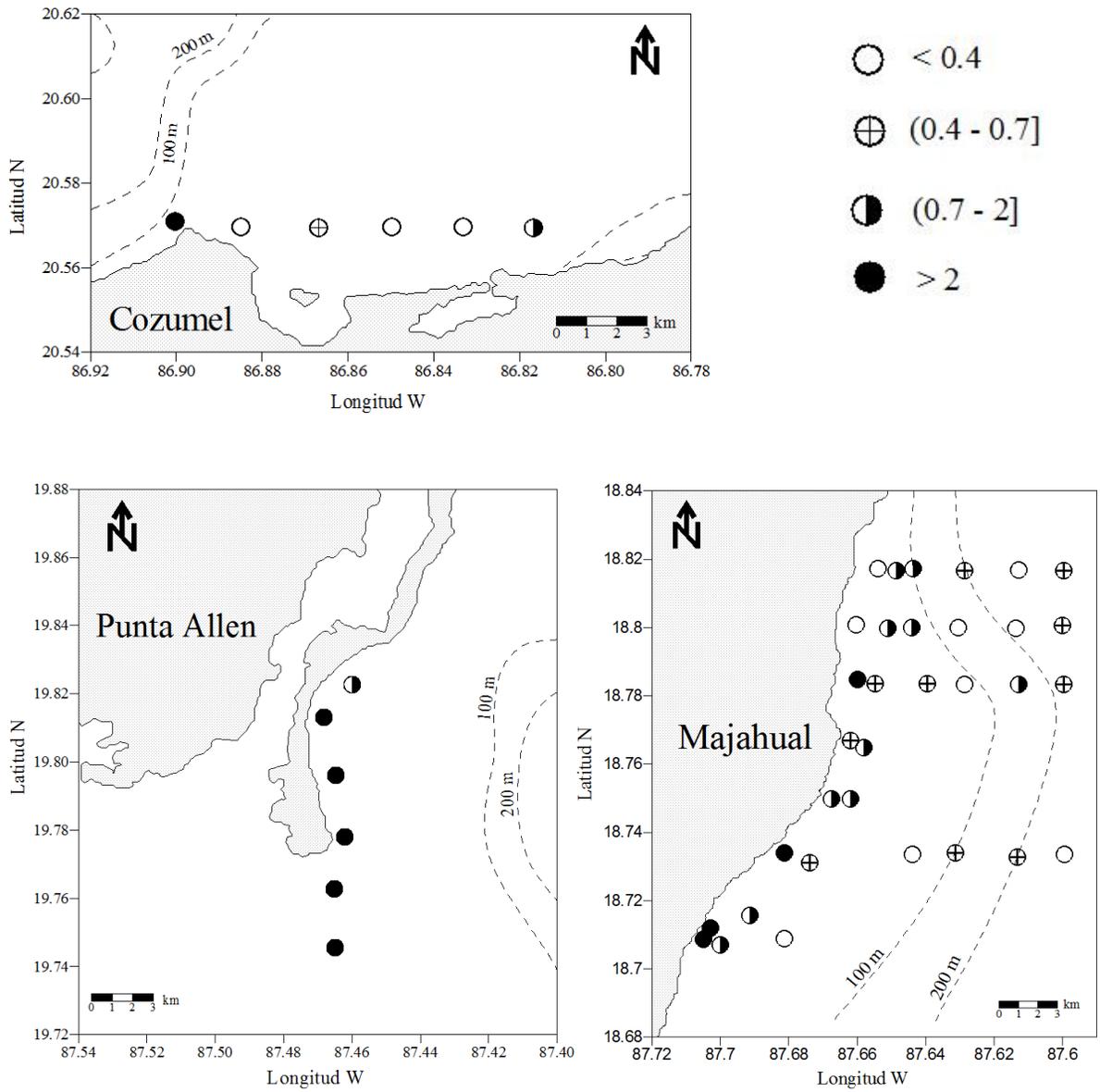


Figura 5. Distribución de la biomasa zooplanctónica (g/100 m³) en el Caribe mexicano en abril de 2008.

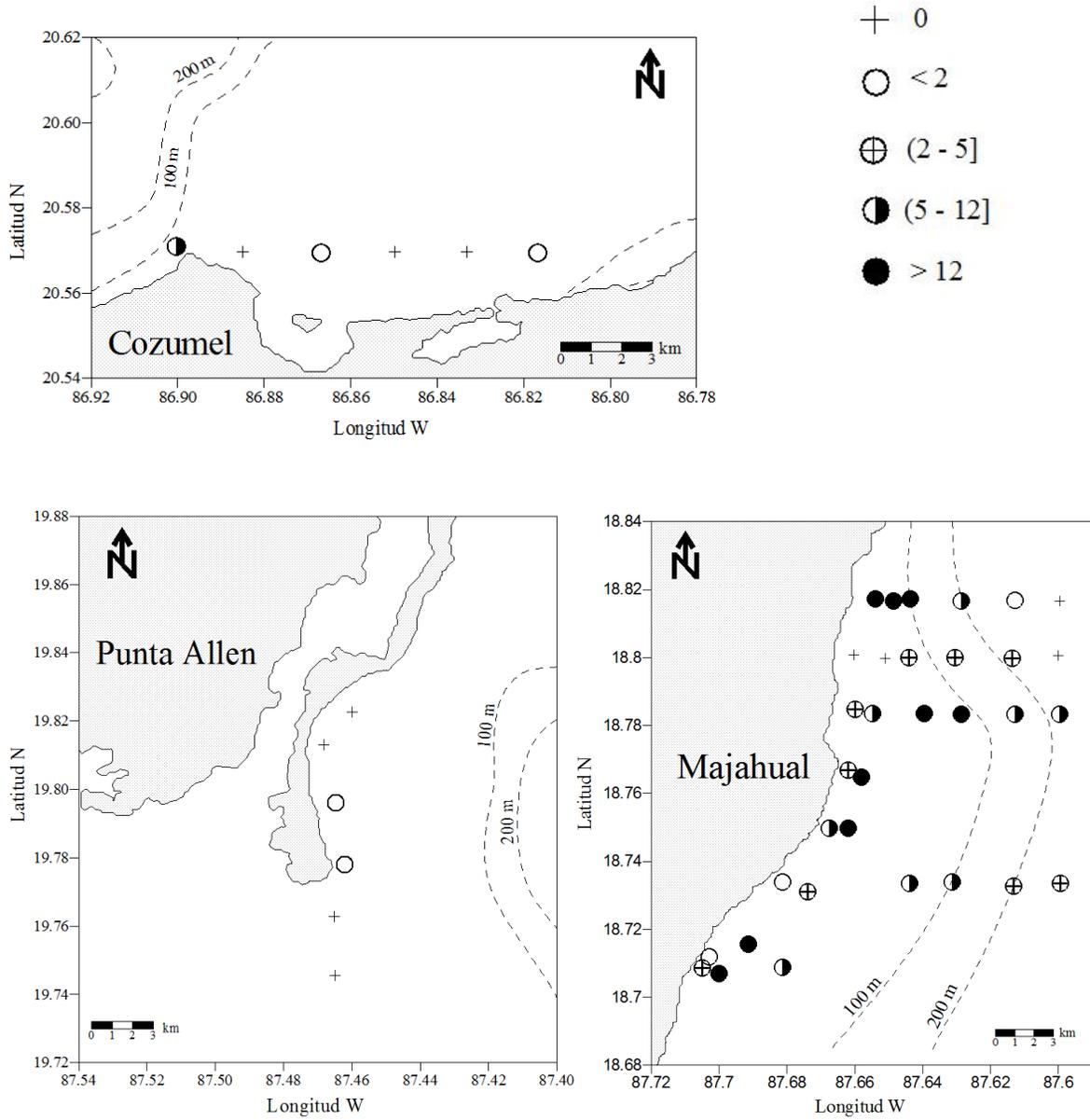


Figura 6. Distribución de densidad de moluscos holoplanctónicos (ind/100 m³) en el Caribe mexicano en abril de 2008.

Composición específica

Se recolectaron e identificaron un total de 471 moluscos holoplanctónicos representados en dos subclases, dos órdenes, cinco familias, seis géneros y ocho especies (Tabla 3); asimismo se identificaron organismos en estadios juveniles pertenecientes a los géneros *Cavolinia* y *Diacavolinia*. Cabe mencionar que un número reducido de moluscos (< 4%) no fue identificado debido que se encontraban en malas condiciones.

De las dos subclases, Heterobranchia fue la más diversa y abundante representando el 79.40% de la abundancia total; en consecuencia la subclase Caenogastropoda presentó menor abundancia y diversidad conformada por sólo el 16.77% restante. Los órdenes Thecosomata y Littorinimorpha, incluidos respectivamente en las dos subclases mencionadas, tienen los mismos porcentajes de abundancia.

En orden decreciente de abundancia, las familias registradas son las siguientes: Creseidae (42.25%), Limacinidae (29.29%), Atlantidae (14.43%), Cavoliniidae (7.85%) y Pterotracheidae (2.33%).

Tabla 3. Lista sistemática de los taxa de moluscos holoplanctónicos recolectados en la zona de estudio del Caribe mexicano durante abril del 2008. Clasificación tomada de Ruggieron *et al.* (2015) para las subclases Caenogastropoda y Heterobranchia y para los órdenes Littorinimorpha y Thecosomata. Richert y Seapy (1999) para las familias Atlantidae y Pterotracheidae. Van der Spoel y Dadon (1999) para las familias Limacinidae, Cavoliniidae y Creseidae.

Phylum Mollusca Cuvier, 1795

Clase Gastropoda Cuvier, 1797

Subclase Caenogastropoda Cox, 1960

Orden Littorinimorpha Golikov & Starobogatov, 1975

Familia Atlantidae Rang, 1892

Género *Atlanta* Lesueur, 1817

A. lesueurii Souleyet, 1852

Familia Pterotracheidae Rafinesque, 1814

Género *Firoloida* Lesueur, 1817

F. desmarestia Lesueur, 1817

Subclase Heterobranchia Haszprunar, 1985

Orden Thecosomata Blainville, 1824

Familia Limacinidae J.E. Gray, 1847

Género *Limacina* Bosc, 1817

L. bulimoides d'Orbigny, 1836

L. trochiformis d'Orbigny, 1836

L. inflata d'Orbigny, 1836

L. lesueurii d'Orbigny, 1836

Familia Cavoliniidae J.E. Gray, 1850

Género *Cavolinia* Abildgaard, 1791

Género *Diacavolinia* van der Spoel, Bleeker y Kobayashi, 1993

D. longirostris de Blainville, 1812

Familia Creseidae Rampal, 1973

Género *Creseis* Rang, 1828

C. clava Rang, 1828

Las especies más abundantes en la zona de estudio fueron *Creseis clava*, la cual representó el 42.25% de la abundancia total, *Limacina inflata* (21.44%) y *Atlanta lesueurii* (14.43%). El 21.88% restante está distribuido entre nueve taxones: juveniles del género *Diacavolinia*, *Limacina lesueurii*, *Limacina trochiformis*, *Firoloida desmarestia*, juveniles del género *Cavolinia*, *Diacavolinia* sp., *Cavolinia* sp., *Diacavolinia longirostris* y *Limacina bulimoides* todos ellos con valores menores al 5% (Tabla 4). Los organismos que no lograron ser identificados por su elevado deterioro se les contabilizó como indeterminados.

Tabla 4. Moluscos holoplanctónicos registrados en el mes de abril de 2008 en la región costera del Caribe mexicano frente a Cozumel, Punta Allen y Majahual. Orden según *AR*.

AR = abundancia relativa (%); \bar{X} = densidad promedio (ind/100 m³); *F* = número de veces que apareció el taxón en 45 estaciones muestreadas.

| TAXON | AR | \bar{X} | F |
|-----------------------------------|-----------|-----------|----------|
| <i>Creseis clava</i> | 42.25 | 1.99 | 42 |
| <i>Limacina inflata</i> | 21.44 | 1.01 | 19 |
| <i>Atlanta lesueurii</i> | 14.43 | 0.68 | 29 |
| <i>Limacina lesueurii</i> | 4.03 | 0.19 | 11 |
| <i>Diacavolinia</i> sp. juveniles | 4.45 | 0.21 | 7 |
| <i>Limacina trochiformis</i> | 3.60 | 0.17 | 5 |
| <i>Firoloida desmarestia</i> | 2.33 | 0.11 | 9 |
| <i>Cavolinia</i> sp. juveniles | 1.91 | 0.09 | 3 |
| <i>Diacavolinia</i> sp. | 0.84 | 0.04 | 3 |
| <i>Cavolinia</i> sp. | 0.42 | 0.02 | 2 |
| <i>Diacavolina longirostris</i> | 0.21 | 0.01 | 1 |
| <i>Limacina bulimoides</i> | 0.21 | 0.01 | 1 |
| Indeterminados | 3.82 | 0.18 | 7 |

Distribución y abundancia de las especies

Los taxones determinados presentaron diversos patrones de distribución en las diferentes zonas de muestreo, a continuación se presenta una breve descripción.

Familia Atlantidae Rang, 1892

Atlanta lesueurii sólo se encontró en Majahual con una densidad promedio de 0.68 ind/100 m³. Fue la tercer especie más abundante y constituyó el 14.87% del total de moluscos registrados en esta localidad (Tabla 5). La distribución de esta especie presentó una mayor concentración en las estaciones lejanas a la costa (Figura 7; Apéndice: Figura 2A).

Familia Pterotracheidae Rafinesque, 1814

Firoloida desmarestia se distribuyó únicamente en la localidad de Majahual, presentándose en cinco estaciones de muestreo generalmente lejanas a la línea de costa con una densidad promedio de 0.11 ind/100 m³. Constituyó el 2.40% de la abundancia total registrada en la zona (Figura 8; Tabla 5; Apéndice: Figura 2B).

Familia Limacinidae J.E. Gray, 1847

Limacina bulimoides únicamente fue recolectada en una estación cercana a la línea de costa de Majahual, registró una abundancia relativa y una densidad promedio baja ($AR = 0.21\%$, $\bar{x} = 0.01$ ind/100 m³) siendo una de las especies menos abundantes para toda el área de estudio (Figura 9; Tabla 5; Apéndice: Figura 3A).

Limacina trochiformis se registró en una sola localidad distribuyéndose específicamente en tres estaciones cercanas a la costa de Majahual. Representó el 3.71% de la abundancia de moluscos para esta zona y mostró una abundancia promedio de 0.17 ind/100 m³ (Figura 10; Tabla 5; Apéndice: Figura 3B).

Limacina inflata estuvo presente en las costas de Cozumel y Majahual, siendo esta última la localidad en donde mostró una abundancia promedio mayor ($\bar{x} = 0.96$ ind/100 m³) (Tabla 5). Es la segunda especie más abundante en la zona de estudio. En ambas localidades su distribución estuvo restringida hacia las estaciones colindantes con la costa (Figura 11; Apéndice: Figura 3C).

Tabla 5. Moluscos holoplanctónicos registrados en el mes de abril de 2008 en las localidades de estudio. Orden según AR de Majahual.

AR = abundancia relativa (%); \bar{X} = densidad promedio (ind/100 m³); F = número de veces que apareció el taxón.

| TAXON | Cozumel (n= 12) | | | Punta Allen (n= 12) | | | Majahual (n= 66) | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------|---|---------------------|-----------|---|------------------|-----------|----|
| | AR | \bar{X} | F | AR | \bar{X} | F | AR | \bar{X} | F |
| <i>Creseis clava</i> | 16.66 | 0.02 | 1 | 100 | 0.02 | 2 | 42.66 | 1.95 | 39 |
| <i>Limacina inflata</i> | 41.66 | 0.05 | 2 | - | - | - | 21.00 | 0.96 | 17 |
| <i>Atlanta lesueurii</i> | - | - | - | - | - | - | 14.87 | 0.68 | 29 |
| <i>Diacavolinia</i> sp. juveniles | - | - | - | - | - | - | 4.59 | 0.21 | 7 |
| <i>Limacina trochiformis</i> | - | - | - | - | - | - | 3.71 | 0.17 | 5 |
| <i>Limacina lesueurii</i> | 41.66 | 0.05 | 1 | - | - | - | 3.06 | 0.14 | 10 |
| <i>Firoloida desmarestia</i> | - | - | - | - | - | - | 2.40 | 0.11 | 9 |
| <i>Cavolinia</i> sp. juveniles | - | - | - | - | - | - | 1.96 | 0.09 | 3 |
| <i>Diacavolinia</i> sp. | - | - | - | - | - | - | 0.87 | 0.04 | 3 |
| <i>Cavolinia</i> sp. | - | - | - | - | - | - | 0.43 | 0.02 | 1 |
| <i>Limacina bulimoides</i> | - | - | - | - | - | - | 0.21 | 0.01 | 1 |
| <i>Diacavolinia longirostris</i> | - | - | - | - | - | - | 0.21 | 0.01 | 1 |
| No identificados | - | - | - | - | - | - | 3.93 | 0.14 | 7 |

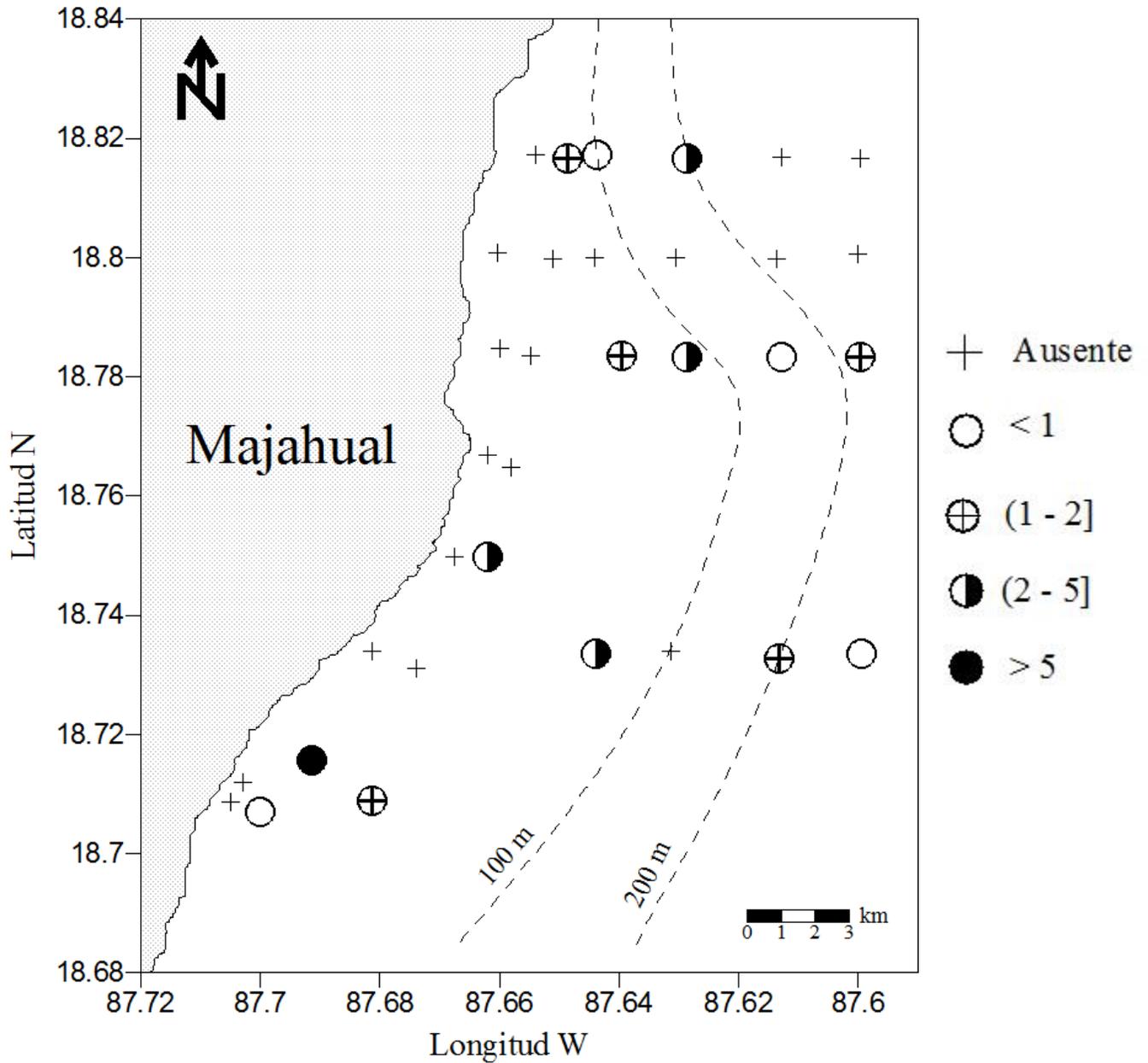


Figura 7. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Atlanta lesueurii* frente a la costa de Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

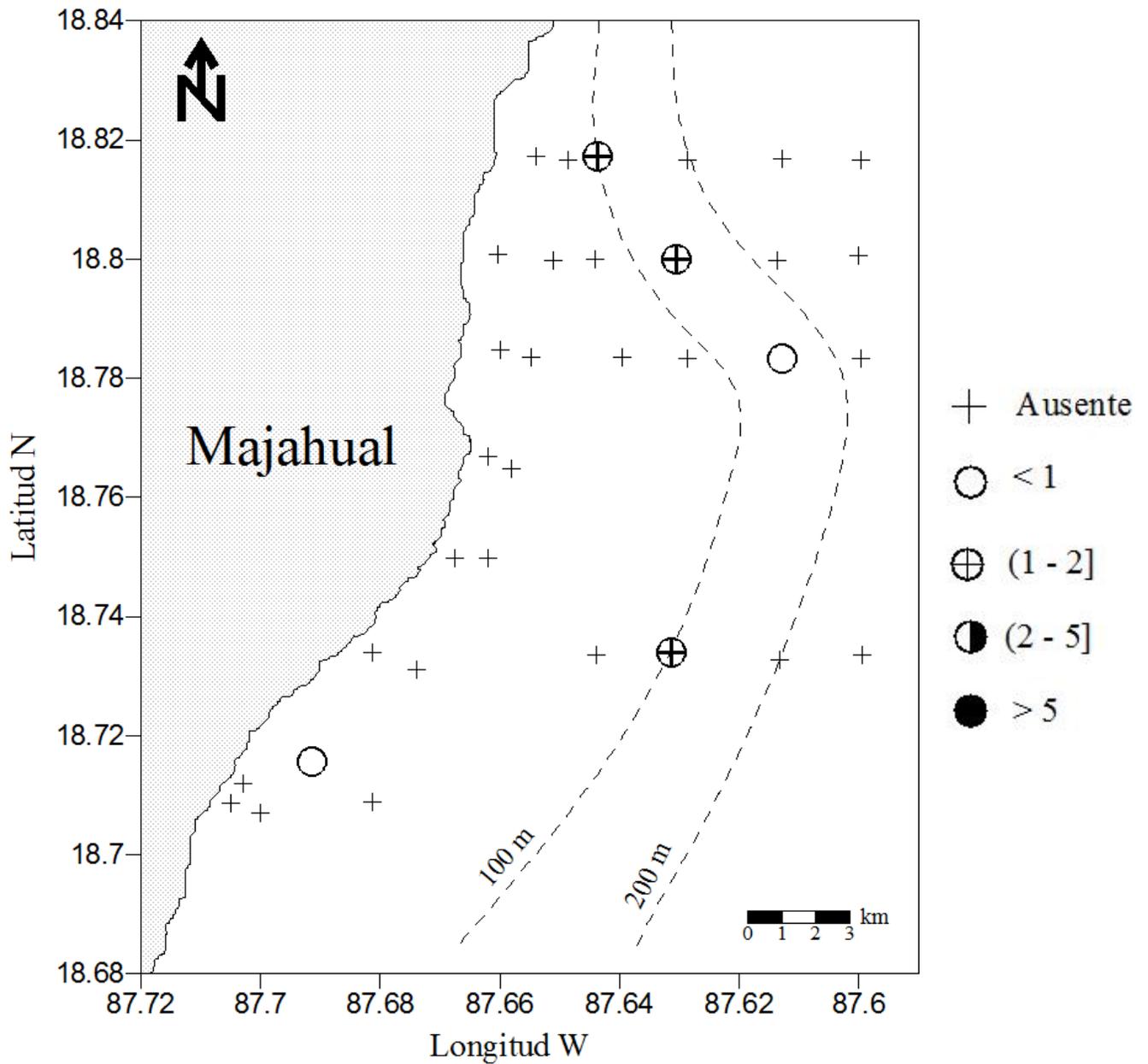


Figura 8. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Firoloida desmarestia* frente a la costa de Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

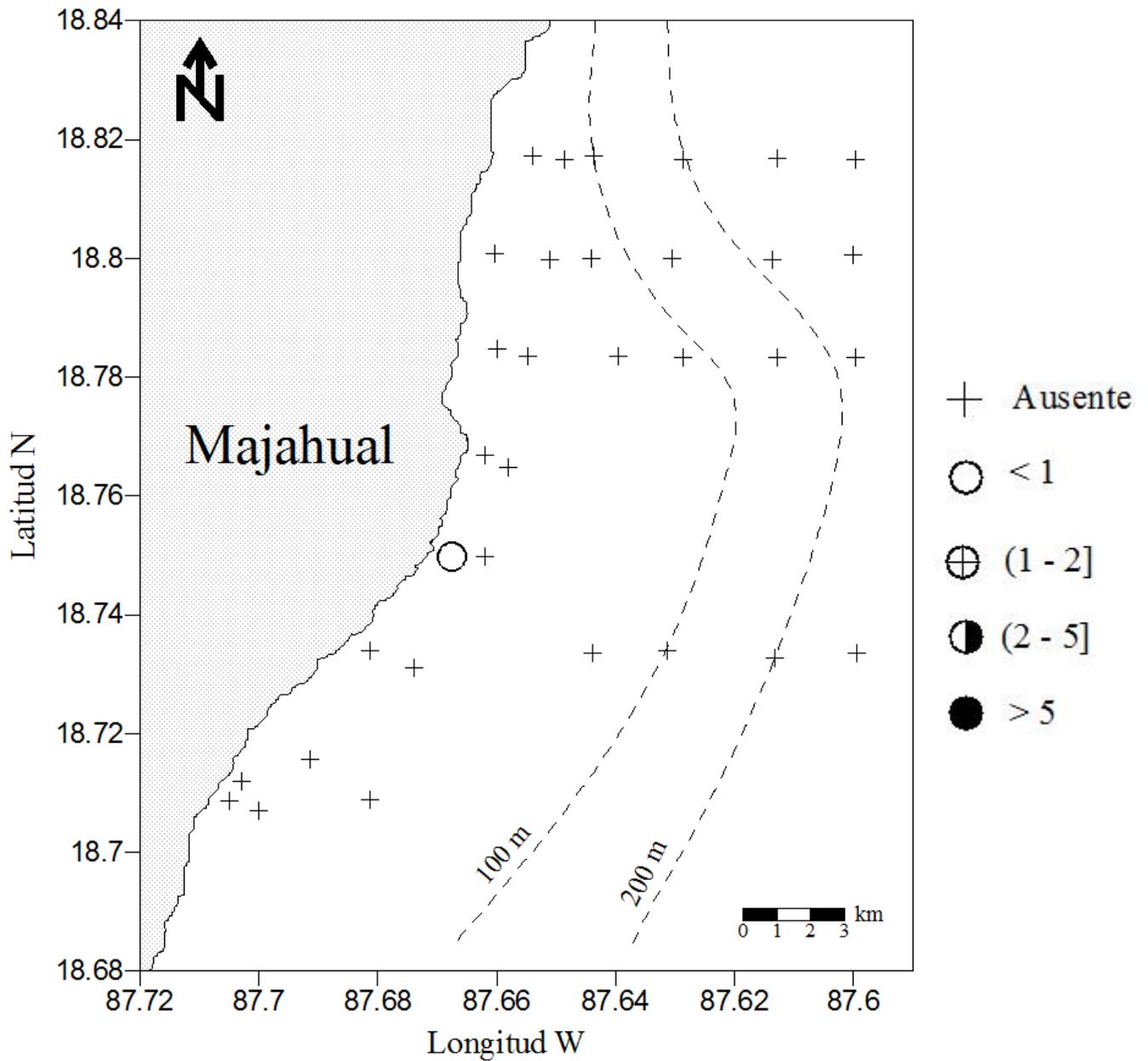


Figura 9. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Limacina bulimoides* frente a la costa de Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

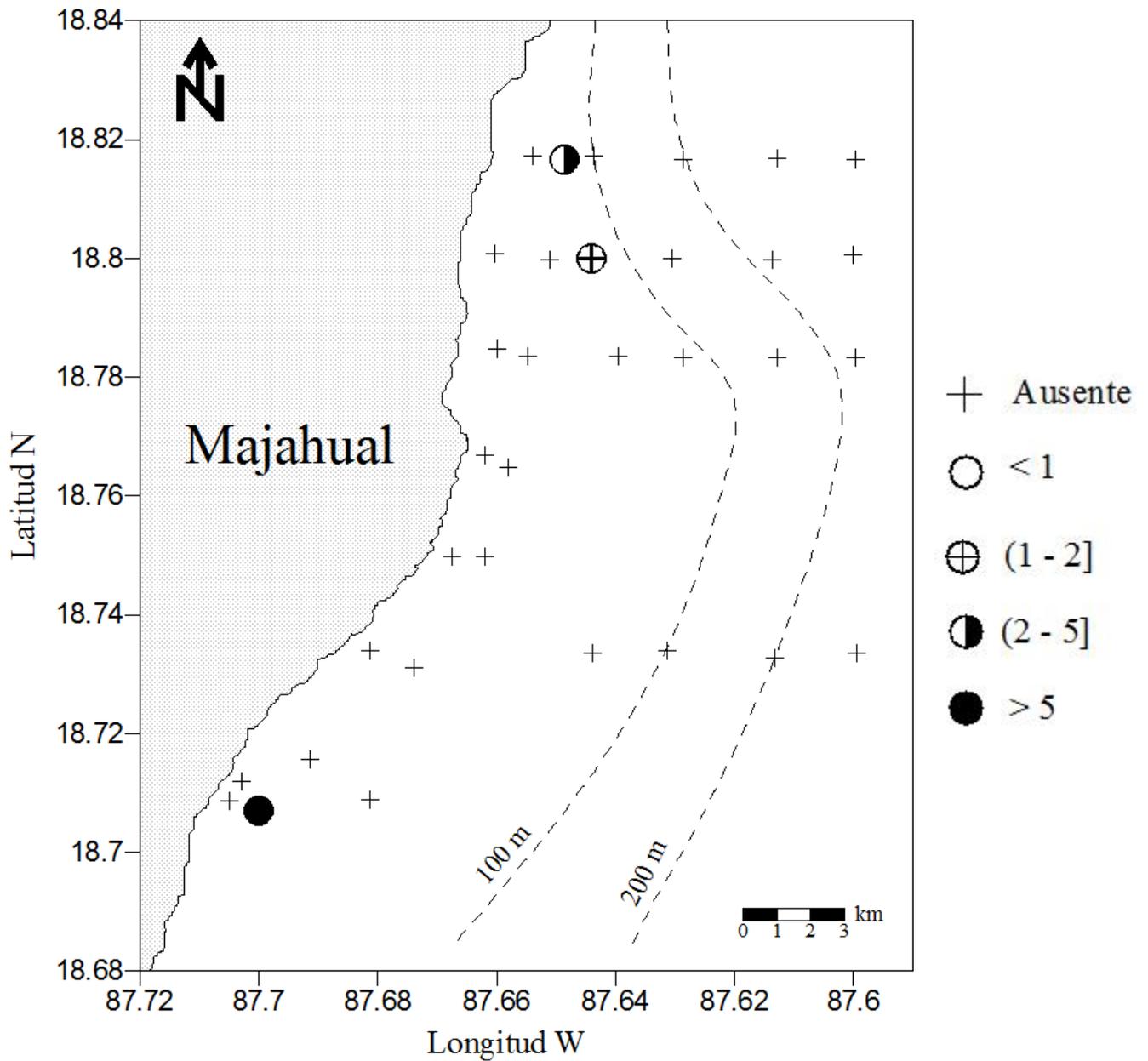


Figura 10. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Limacina trochiformis* frente a la costa de Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

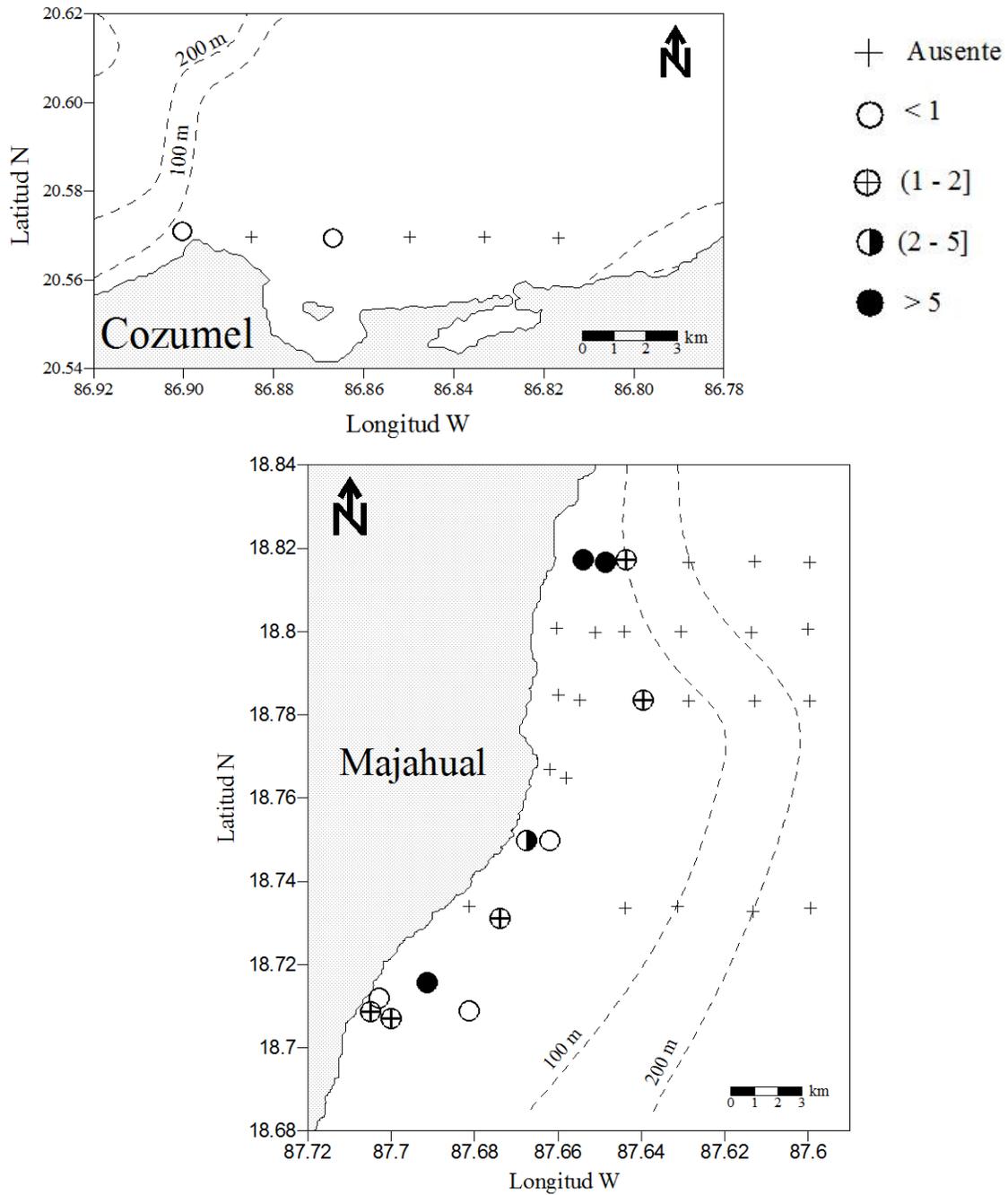


Figura 11. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Limacina inflata* frente a las costas de Cozumel y Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

Limacina lesueurii se distribuyó en las costas de Cozumel y Majahual presentándose sólo en una estación de Cozumel mientras que en Majahual fue más frecuente, en donde sus abundancias más altas se localizaron en estaciones cercanas a la línea de costa (Figura 12). Su densidad promedio fue de 0.14 ind/100 m³ para Majahual y 0.05 ind/100 m³ en Cozumel. Su abundancia relativa fue mayor en esta última zona ($AR = 41.66\%$) (Tabla 5; Apéndice: Figura 3D).

Familia Cavoliniidae J.E. Gray, 1850

Cavolinia sp. se identificó en Majahual en dos puntos de muestreo distantes entre ellos con una densidad promedio baja ($\bar{x} = 0.02$ ind/100 m³) y conformó el 0.43% de la abundancia total de moluscos holoplanctónicos en el sitio (Figura 13; Tabla 5; Apéndice: Figura 4A).

Los organismos juveniles del género *Cavolinia* registraron una densidad promedio de 0.09 ind/100 m³ en Majahual distribuyéndose en diversos puntos de muestreo de esta localidad, sin embargo presentaron una mayor frecuencia en las estaciones cercanas a la costa. Su abundancia relativa fue de 1.96% (Figura 14; Tabla 5; Apéndice: Figura 5A).

Diacavolinia longirostris fue una de las dos especie menos abundantes, representó el 0.21% de la abundancia total de moluscos en Majahual y sólo se identificó en esta área. Se distribuyó en una estación cercana a la costa con una densidad promedio baja ($\bar{x} = 0.01$ ind/100 m³) (Figura 15; Tabla 5; Apéndice: Figura 4B).

Diacavolinia sp. se restringió a la localidad de Majahual representando el 0.87% de la abundancia total en esta zona. Se presentó en un solo punto de muestreo cercano a la costa y mostró una densidad promedio de 0.04 ind/100 m³ (Figura 16; Tabla 5; Apéndice: Figura 4C).

Los moluscos holoplanctónicos juveniles pertenecientes al género *Diacavolinia* fueron identificados en las costas de Majahual, de manera general las abundancias mayores se concentraron en las estaciones cercanas a la línea de costa. Registraron una densidad promedio elevada en comparación con la mayoría de los moluscos de esta zona ($\bar{x} = 0.21$ ind/100 m³) y representaron el 4.59% de la abundancia de moluscos en Majahual (Figura 17; Tabla 5; Apéndice: Figura 5B).

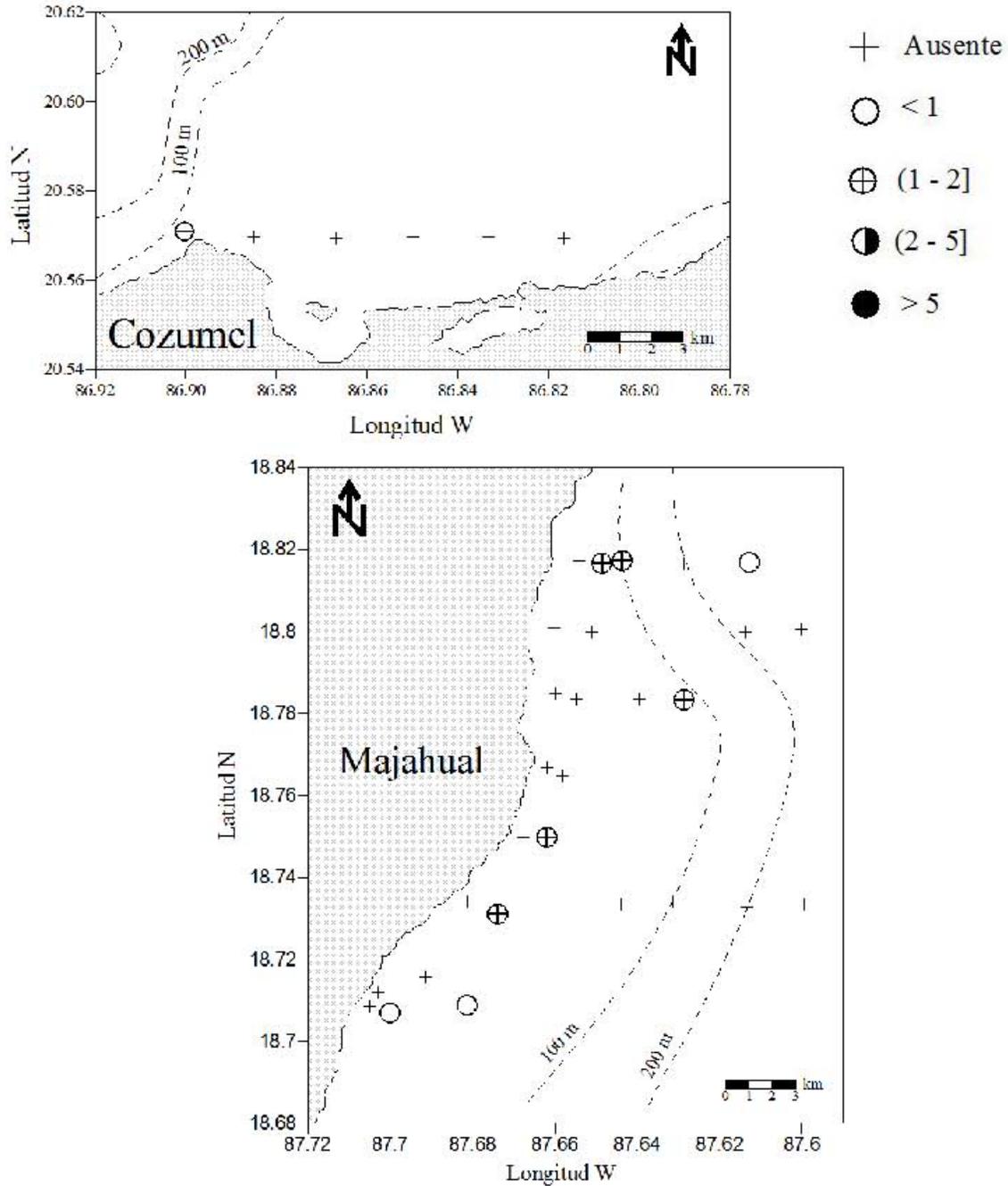


Figura 12. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Limacina lesueurii* frente a las costas de Cozumel y Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

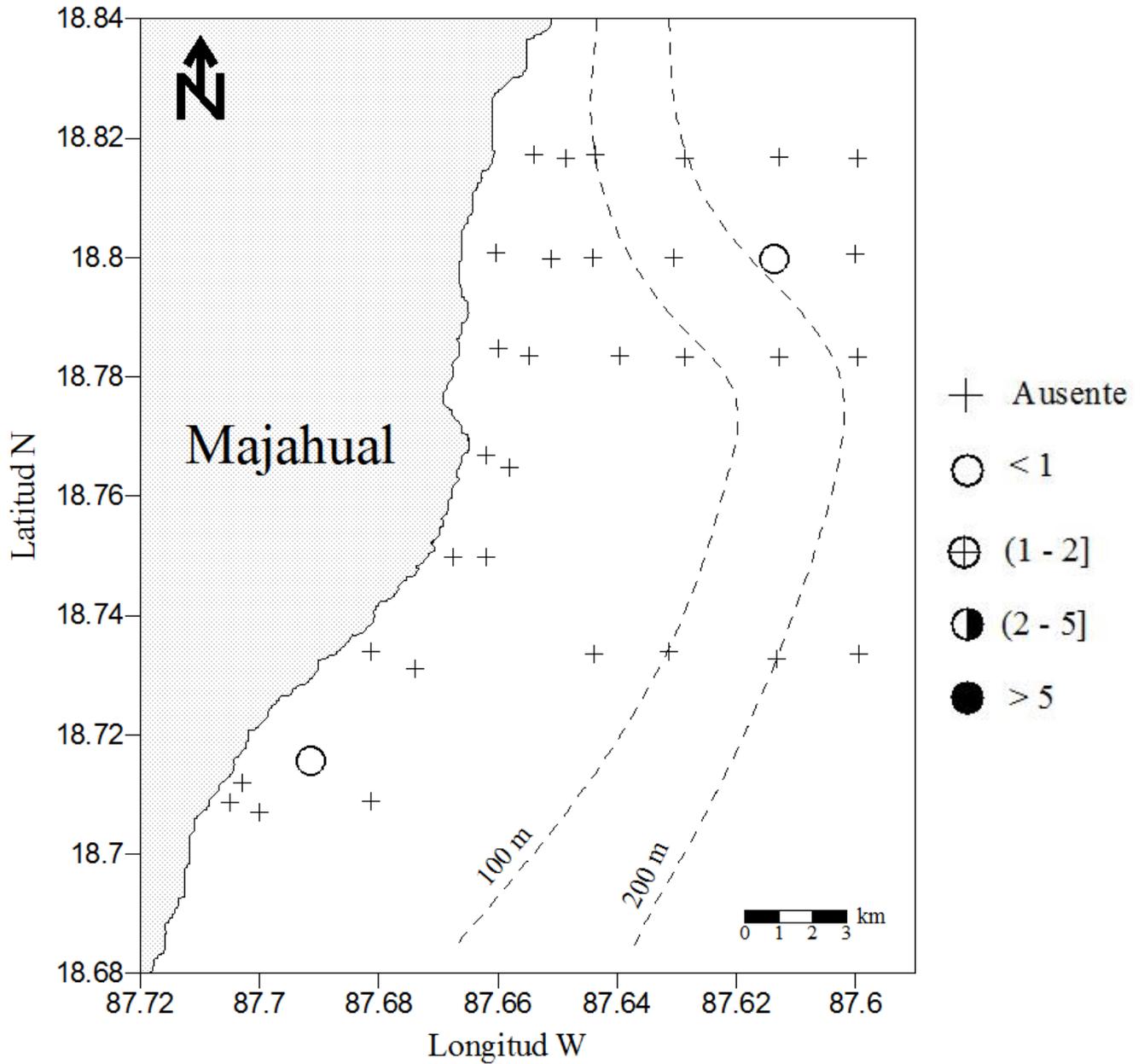


Figura 13. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Cavolinia* sp. frente a la costa de Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

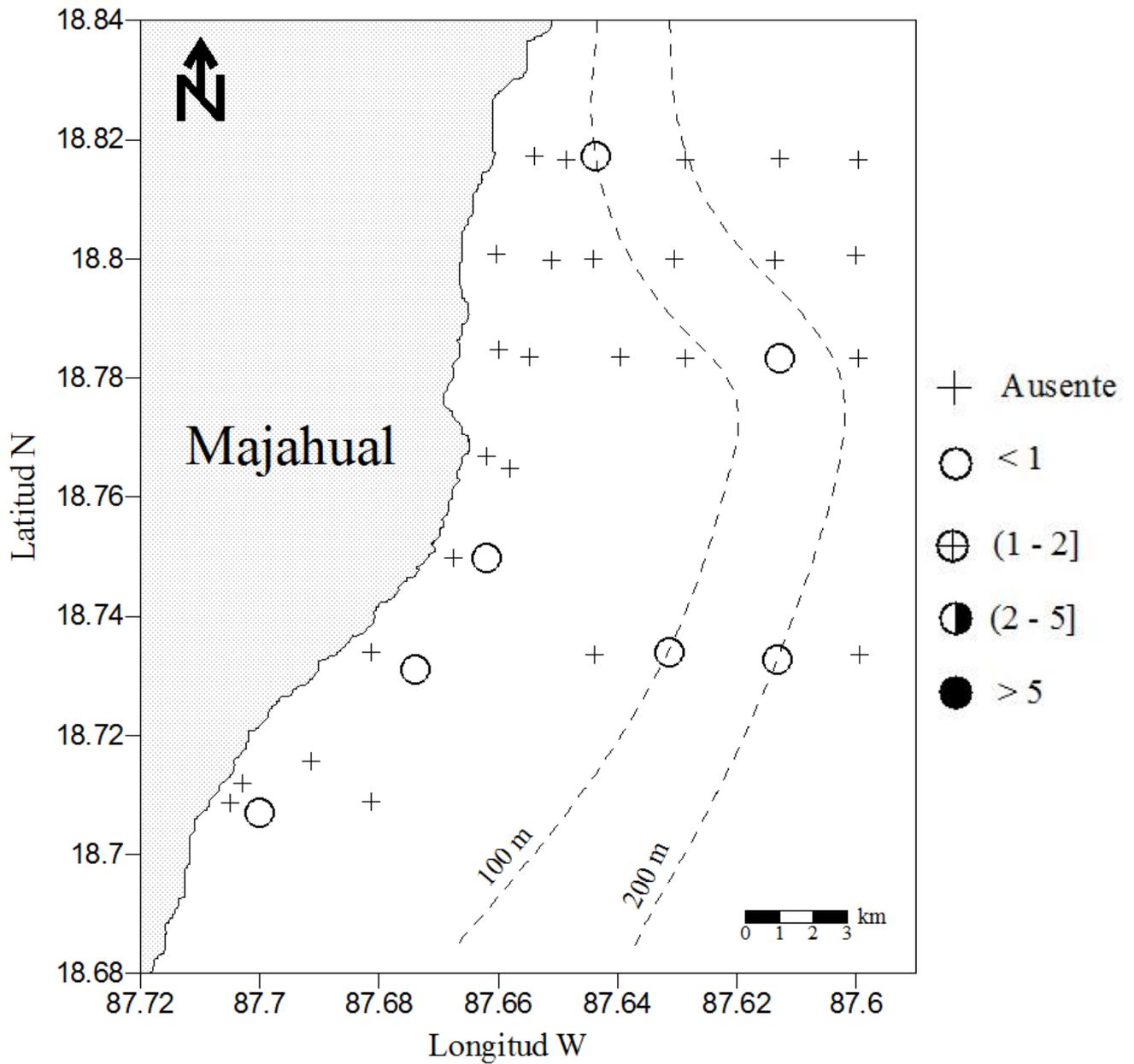


Figura 14. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de juveniles del género *Cavolinia* frente a la costa de Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

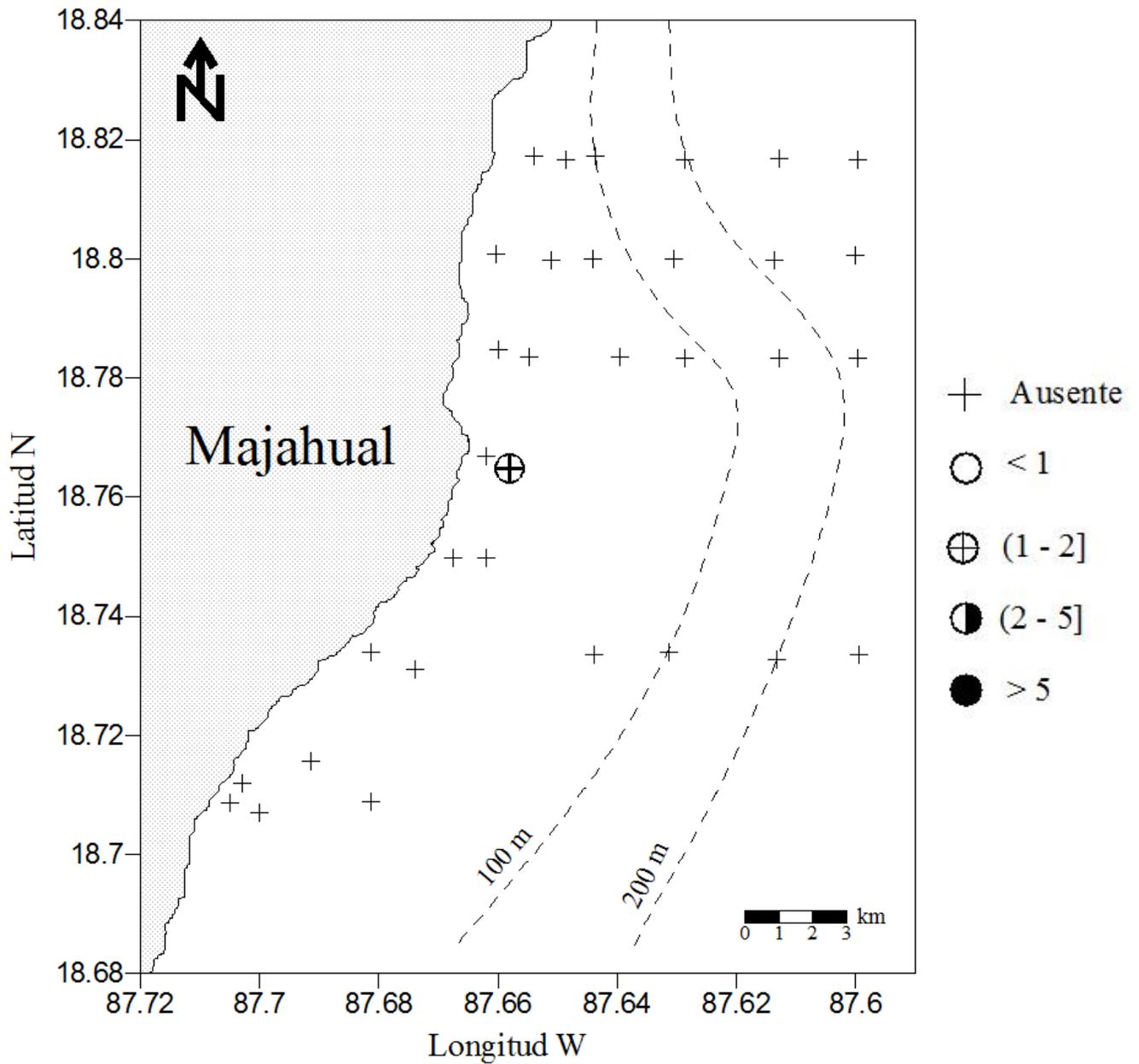


Figura 15. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Diacavolinia longirostris* frente a la costa de Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

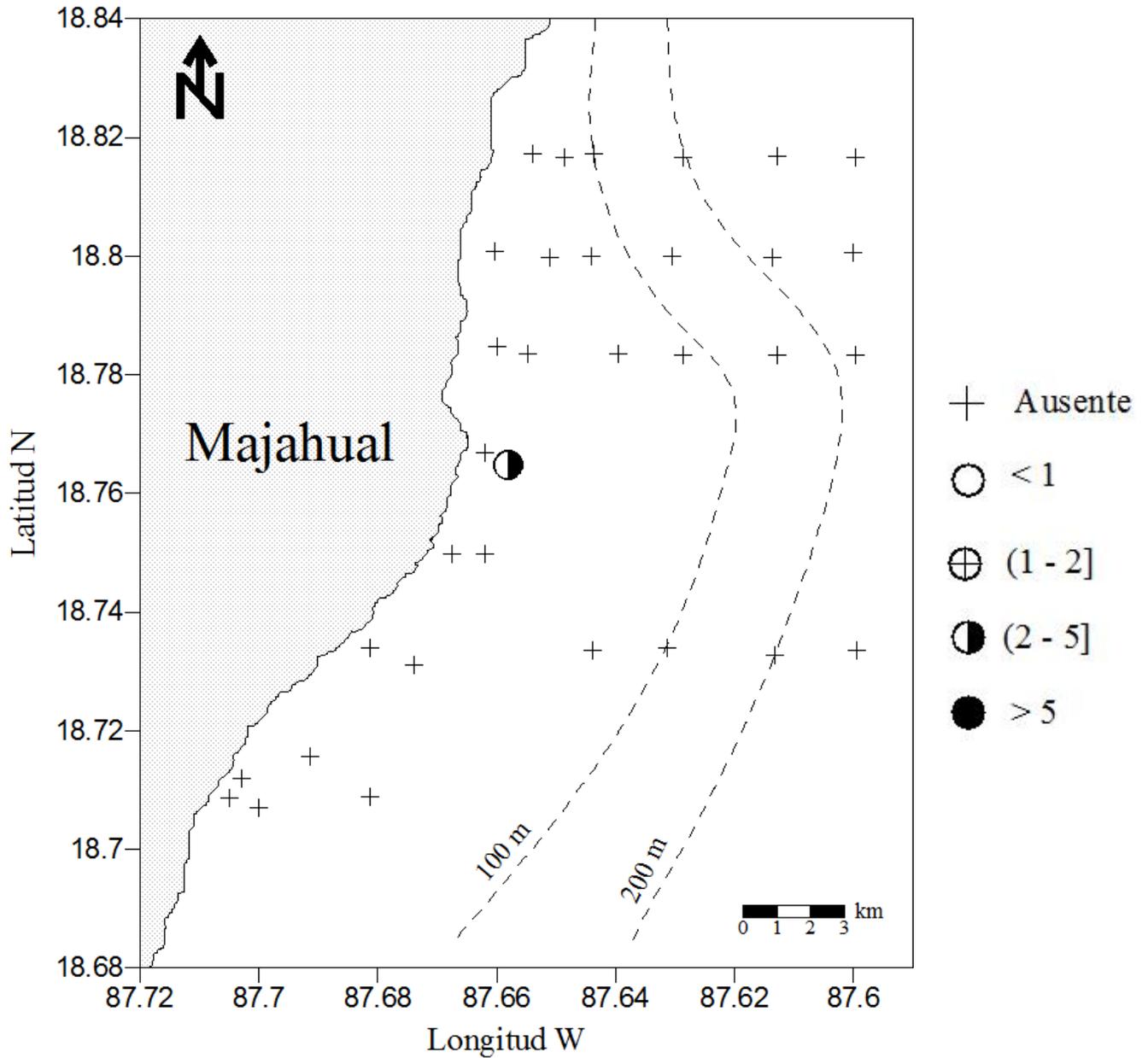


Figura 16. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Diacavolinia* sp. frente a la costa de Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

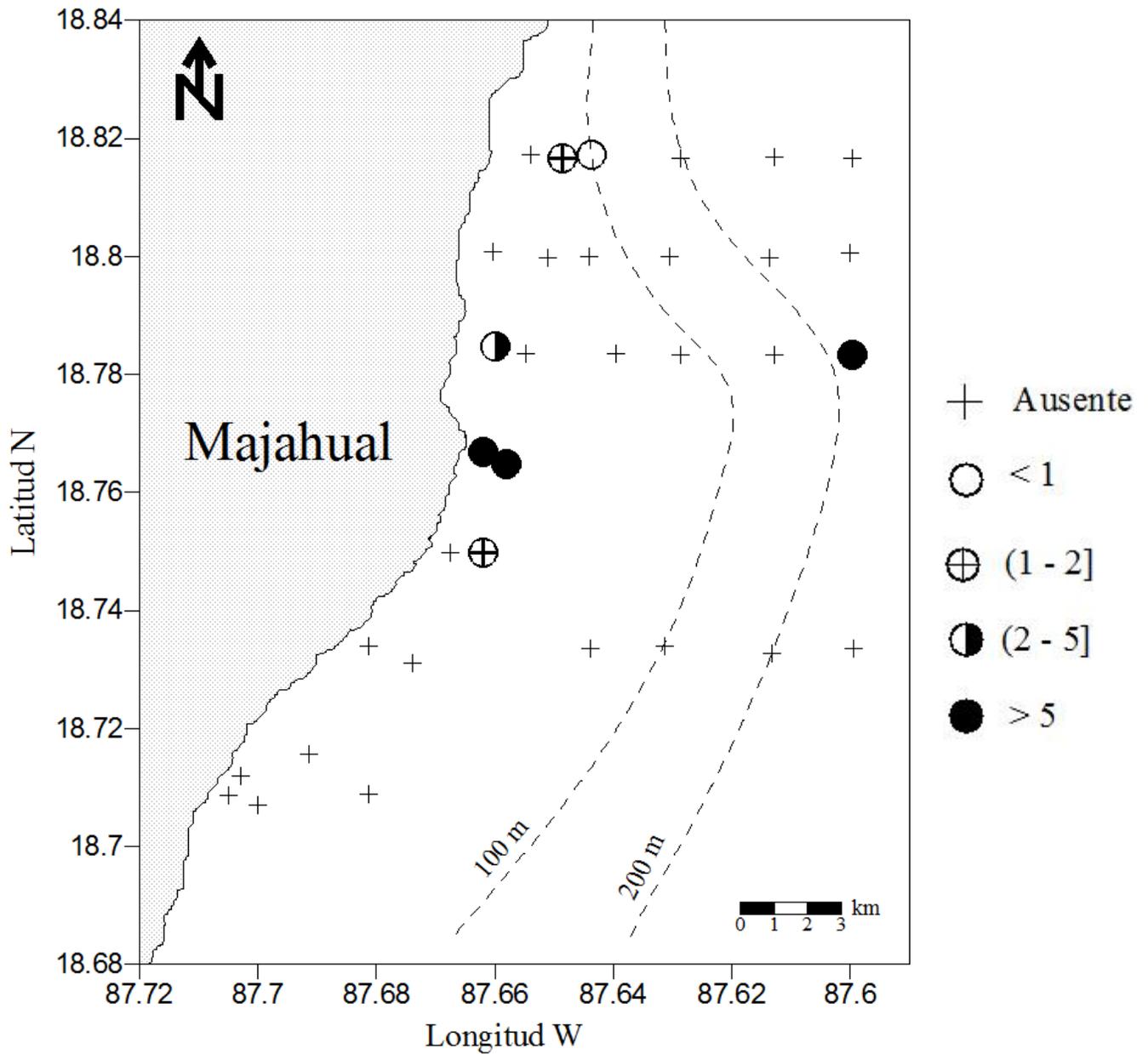


Figura 17. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de juveniles del género *Diacavolinia* frente a la costa de Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

Familia Creseidae Rampal, 1973

Creseis clava fue la especie más abundante y se identificó en las tres zonas de estudio, presentando una mayor densidad promedio en Majahual ($\bar{X} = 1.95 \text{ ind}/100 \text{ m}^3$) seguida por Cozumel y Punta Allen, ambas con una densidad promedio de $0.02 \text{ ind}/100 \text{ m}^3$. En orden decreciente las abundancias relativas fueron las siguientes: Punta Allen ($AR = 100\%$), Majahual ($AR = 42.66\%$), Cozumel ($AR = 16.66\%$). Se registró en 22 estaciones de Majahual con una amplia distribución, en Punta Allen se presentó en sólo dos estaciones centrales cercanas a la costa y en Cozumel sólo se situó en la estación seis (Figura 18; Tabla 5; Apéndice: Figura 4D).

Los organismos no identificados sólo se presentaron en las muestras de Majahual y conformaron el 3.93% de la abundancia total de moluscos para esta zona (Tabla 5).

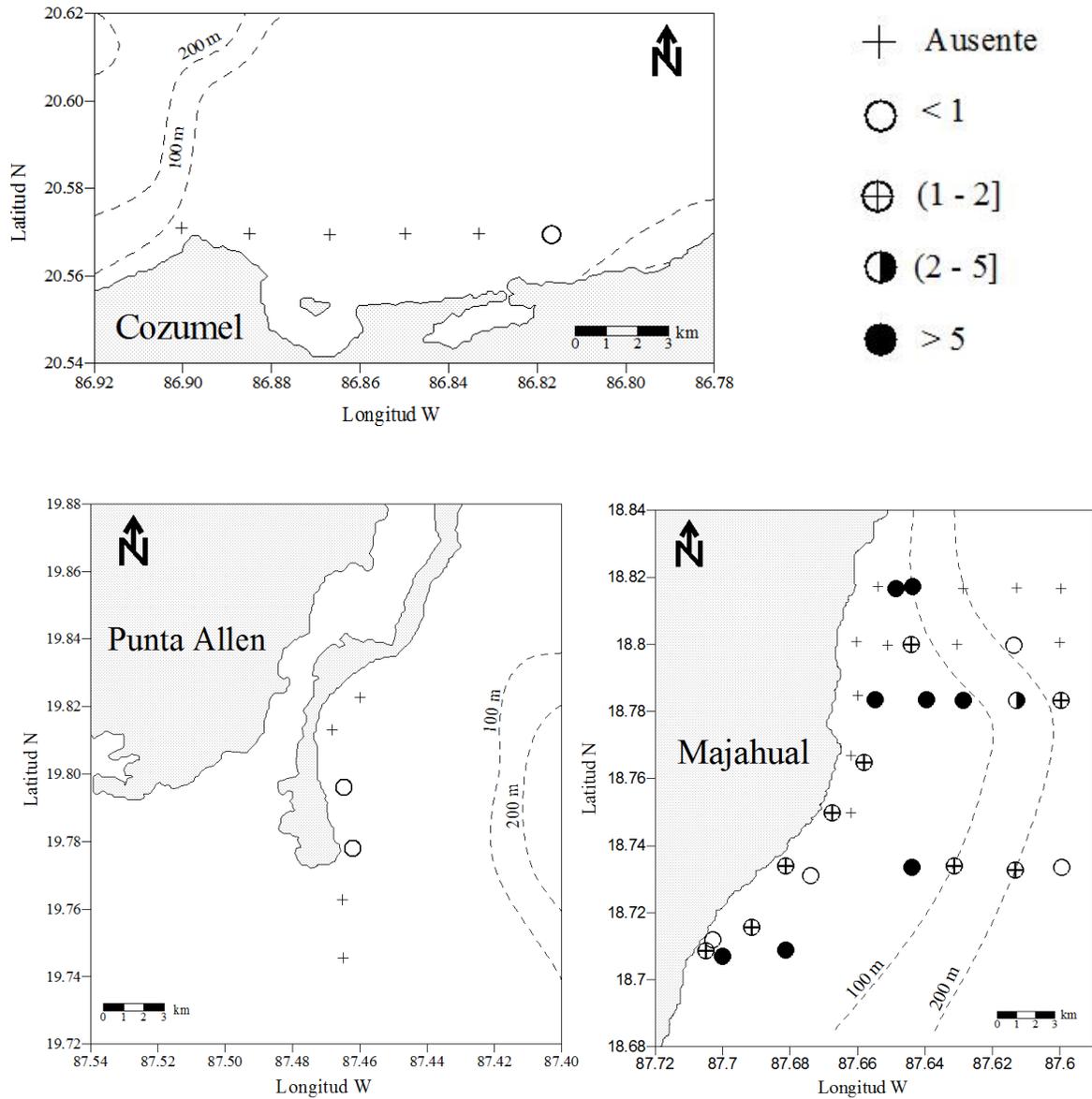


Figura 18. Distribución y abundancia (ind/100 m³) de *Creseis clava* frente a las costas de Cozumel, Punta Allen y Majahual, Caribe mexicano en abril de 2008.

Factores ambientales que influyen en la distribución de los moluscos holoplanctónicos en la costa de Majahual

Para analizar la influencia que tienen los factores ambientales en la distribución de los moluscos holoplanctónicos se realizó un análisis de regresión por árboles, en donde la variable de respuesta fue la densidad de moluscos holoplanctónicos y las variables de predicción fueron la disponibilidad de alimento (biomasa), salinidad y temperatura.

Este análisis reveló que la temperatura y la biomasa zooplanctónica fueron los factores más importantes que influyeron en la distribución de los moluscos holoplanctónicos en las costas del Caribe mexicano durante abril del 2008. De estos factores la temperatura fue el principal determinante de la distribución de los moluscos, seguido por la biomasa.

El análisis de regresión por árboles relacionó las mayores densidades de moluscos holoplanctónicos ($\bar{x} = 17.33 \text{ ind}/100 \text{ m}^3$) con los valores de temperaturas más bajas ($< 27.8 \text{ }^\circ\text{C}$) y los niveles de biomasa más elevados ($\geq 0.68 \text{ g}/100 \text{ m}^3$) (Figura 19A). A su vez, las densidades bajas de moluscos ($\bar{x} = 2.08 \text{ ind}/100 \text{ m}^3$) correspondieron con las temperaturas más elevadas ($\geq 27.8 \text{ }^\circ\text{C}$) (Figura 19A). Generalmente las áreas con una mayor densidad de moluscos holoplanctónicos, temperaturas cálidas y mayor disponibilidad de alimento se ubicaron principalmente cerca de la línea de costa (Figura 19B).

DISCUSIÓN

Hidrología

La temperatura superficial del agua presentó variaciones en las tres localidades de estudio desde 24.6 hasta 30.6 °C. Estos registros están dentro del intervalo de valores reportados para las costas del Caribe mexicano que van de 24 a 32.85 °C (Merino y Otero, 1991).

La temperatura promedio más elevada se registró en Majahual ($\bar{x} = 27.4$ °C). De acuerdo con Suárez-Morales y Rivera-Arriaga (1998) en esta zona la temperatura superficial puede alcanzar los 32 °C durante julio y agosto y descender hasta los 21 °C en diciembre y enero. En contraste, la temperatura promedio más baja se observó en Punta Allen ($\bar{x} = 25.8$ °C) y según Jordán-Dahlgren *et al.* (1994), esta zona puede llegar a presentar temperaturas de 23 a 31 °C.

Por otra parte, la salinidad mostró valores homogéneos en toda el área de estudio (36.2 - 37.2). Merino (1992) menciona que las salinidades representativas para las costas de Quintana Roo varían entre 32 y 36. Estas salinidades sugieren una ausencia de aportes continentales significantes sobre la estrecha plataforma continental y una gran influencia de las aguas oceánicas. En estas zonas kársticas, la principal desembocadura de agua dulce hacia el mar es a través de las grietas del subsuelo durante la estación de lluvias (julio a octubre) y por los manantiales comúnmente conocidos como "ojos de agua" (Logan *et al.*, 1969; Merino y Otero, 1991; Merino, 1992).

Cabe mencionar que todos los arrastres se realizaron en zonas cercanas a la costa (< 133.95 m) lo que permitió identificar variaciones de estos parámetros hidrológicos a pequeña escala según las características particulares de cada zona de muestreo.

Biomasa zooplanctónica y densidad de moluscos holoplanctónicos

El Caribe mexicano se caracteriza por ser un ambiente oligotrófico debido a la escasez de nutrientes derivada principalmente de los pocos aportes de agua dulce hacia el mar (Strömberg *et al.*, 2009). Esta baja productividad se ve reflejada en los valores de biomasa en este estudio (0.02 a 7.51 g/100 m³).

De manera general, los estudios previos realizados en el Caribe mexicano han registrado cantidades bajas de biomasa zooplanctónica (Gasca y Catellanos, 1993; Álvarez-Cadena *et al.*, 2007; Vásquez-Yeomans *et al.*, 2012). En la Bahía de Chetumal, Gasca y Castellanos (1993) registraron biomazas de 0.00043 - 0.02098 g/100 m³ durante un periodo de cinco meses. Álvarez-Cadena *et al.* (2007) realizaron un estudio al norte de Quintana Roo en donde obtuvieron los valores de biomasa de un año (0.3 - 7.5 g/100 m³) y Vásquez-Yeomans *et al.* (2012) registraron valores promedio de 0.011 y 0.016 g/100 m³ durante dos ciclos anuales en el Caribe occidental.

Dentro de toda el área de estudio Punta Allen registró las concentraciones mayores de biomasa zooplanctónica ($\bar{x} = 3.40$ g/100 m³). Espejel-Montes (1983) menciona que esta zona se ve influenciada por los sistemas estuarinos cercanos como la Bahía de Ascensión y el sistema Campechén - La Ría; donde Sanvicente-Añorve *et al.* (2003) observaron valores de biomasa de ~30 g/100 m³. Los sistemas estuarinos son parte importante de los medios acuáticos ya que se relacionan directamente con una alta productividad (Kennish, 1986). Conjuntamente, las altas concentraciones de biomasa presentes en Punta Allen pueden estar relacionadas con las altas densidades de pastos marinos y macro algas en esta zona (Suárez-Morales y Gasca, 1990).

Por otro lado, los valores más bajos de biomasa zooplanctónica se registraron en Cozumel ($\bar{x} = 0.87$ g/100 m³). Esta baja productividad se relaciona con la dinámica del flujo de la Corriente de Yucatán y las contracorrientes costeras temporales que impiden la concentración de biomasa (Muckelbauer, 1990; Álvarez-Filip *et al.*, 2009). Suárez-Morales y Gasca (1998) mencionan que esta corriente representa un factor importante que influye en la distribución de los organismos y en la dinámica general del ecosistema.

Comparativamente, el Caribe mexicano es menos productivo que el sur del Golfo de México. Este último, tiene una plataforma continental ancha y exhibe grandes aportes de agua epicontinental que llevan nutrientes hacia la costa y generan una alta productividad

primaria (Flores-Coto *et al.*, 1988). Sanvicente-Añorve (1990) registró valores de biomasa en diferentes épocas que oscilaron entre 10-100 g/100 m³, frente al sistema Grijalva-Usumacinta.

En general, los estudios realizados en el Caribe mexicano han analizado al grupo de los pterópodos y heterópodos por separado, en el presente estudio se analiza la fauna de moluscos holoplanctónicos (pterópodos y heterópodos) juntos. La densidad de moluscos observada en este trabajo fue de 0 - 68.05 ind/100 m³. Parra-Flores y Gasca (2009), analizaron la capa de agua de los 0 a 100 m en el Caribe Occidental y registraron densidades de pterópodos de 0.01 a 135.01 ind/100 m³ durante el día y 0.16 a 465.72 ind/100 m³ en periodos nocturnos. Por otra parte, Castellanos y Suárez-Morales (2001) observaron densidades de heterópodos de 1 - 9 ind/100 m³ en el Golfo de México y Caribe mexicano. Lemus-Santana (2011) registró densidades igualmente elevadas (1 - 757 ind/100 m³) al sur del Golfo de México de los 0 a los 105 m, en dos épocas del año. Esta variación en densidades se debe a la estructura hidrográfica específica de cada área y a los patrones de migración vertical que presentan estos moluscos pelágicos (Lalli y Gilmer, 1989; van der Spoel, 1996a, 1996b)

Con respecto a la distribución horizontal (costa-océano) de los moluscos holoplanctónicos, Cozumel y Punta Allen no presentaron un patrón de distribución definido debido a que sólo se tiene un transecto paralelo a la línea de costa. Sin embargo, en Majahual se registró una mayor densidad en las estaciones de muestreo cercanas a la línea de costa, mismo patrón observado en la biomasa zooplanctónica (Figura 6). Las zonas cercanas a la costa presentan una gran disponibilidad de nutrientes lo que se relaciona con una alta productividad primaria y por lo tanto una mayor abundancia de organismos (Merino, 1986; Troccoli *et al.*, 2004).

Composición específica

En el presente estudio, el orden Thecosomata fue el más abundante representando el 79.40% de la abundancia total. Van der Spoel (1996b) menciona que dentro de los moluscos pelágicos, los tecosomados (pterópodos) presentan una mayor abundancia, distribuyéndose ampliamente en todos los ambientes marinos. Este éxito ecológico está relacionado con sus diversas adaptaciones a la vida planctónica, así como a la diversidad de organismos que consumen y la variedad de mecanismos de alimentación que presentan. El mecanismo más común es la producción de una red de mucus que se extiende de 10 a 100 veces el tamaño del animal, atrapando el fitoplancton circundante (van der Spoel y Boltovskoy, 1981; van der Spoel y Dadon, 1999).

Contrariamente, los heterópodos (orden Littorinimorpha) registraron el 16.77% de la abundancia total. Lalli y Gilmer (1989) mencionan que estos moluscos se distribuyen principalmente en aguas oceánicas y algunos pueden internarse en aguas neríticas, razón que explicaría las bajas abundancias en este estudio.

De las cinco familias determinadas, Creseidae fue la más abundante (42.25%). Esta familia se incluía dentro de Cavolinidae, pero los estudios filogenéticos y moleculares de Klusmann-Kolb y Dinapoli (2006), Corse *et al.* (2013) y Gasca y Janssen (2013) separan a los creseidos de la familia Cavolinidae. Sin embargo, los estudios anteriores al cambio filogenético registran a la familia Cavolinidae como la más abundante en el Caribe mexicano (Gasca y Suárez-Morales, 1992; Parra-Flores y Gasca, 2009) y en el Golfo de México (Flores-Coto *et al.*, 2013; Lemus-Santana *et al.*, 2014a). Rampal (2002) menciona que los cavolínidos tienen una gran plasticidad genética, característica que les permite explorar una gran variedad de hábitats.

Distribución y abundancia de las especies

Se determinó un total de doce taxones de moluscos holoplanctónicos en aguas neríticas de la región del Caribe mexicano recolectados durante abril de 2008. De éstos, once han sido registrados anteriormente por otros autores (Suárez, 1994; González, 1998; Suárez-Morales y Gasca, 1998; Castellanos y Suárez-Morales, 2001; Parra-Flores y Gasca, 2009; Flores-Coto *et al.*, 2013; Lemus-Santana *et al.*, 2014a, 2014b) en el Caribe mexicano y Golfo de México.

En este estudio, se registró por primera vez *Atlanta lesueurii* en aguas del Caribe mexicano. Esta especie sólo ha sido observada al sur del Golfo de México (Lemus-Santana, 2009, 2011; Lemus-Santana *et al.*, 2014a).

Las dos especies dominantes en este estudio fueron *Creseis clava* y *Limacina inflata* las cuales sumaron el 63.69% de la abundancia total. Richter y Seapy (1999) y van der Spoel y Dadon (1999) mencionan que estas especies se distribuyen ampliamente en todos los ambientes marinos, desde la zona nerítica a la oceánica.

Creseis clava fue la especie más abundante (42.25%). Lalli y Gilmer (1989) indican que es una especie abundante en aguas tropicales y subtropicales. Al igual que en este estudio, Suárez-Morales y Gasca (1998) observaron que este taxón fue el más abundante (38.90%) en el Caribe mexicano. En aguas superficiales (0 - 25 m) del Caribe occidental, Parra-Flores y Gasca (2009) la registraron como la tercera especie más abundante dentro del grupo de los pterópodos. Recientemente, en el sur del Golfo de México, Lemus-Santana *et al.* (2014b), registraron a *C. clava* como una especie dominante (57% de la abundancia total).

Limacina inflata fue la segunda especie más abundante (21.44% de la abundancia total) y se distribuyó principalmente en las estaciones cercanas a la costa de Majahual (Figura 11). Suárez (1994) menciona que esta especie es característica de aguas tropicales del Mar Caribe, así como en las zonas centro y sur del Golfo de México. *Limacina inflata* es considerada una especie con afinidad nerítica y generalmente presenta abundancias elevadas en dicha zona (van der Spoel, 1996b). En el Caribe occidental, Parra-Flores y Gasca (2009) analizaron el estrato de los 0 - 25 m y observaron que esta especie fue la más abundante (52.5%). Al igual que en este estudio, Lemus-Santana *et al.* (2014b) la registraron como la segunda especie más abundante al sur del Golfo de México.

Atlanta lesueurii fue la tercer especie más abundante en este estudio, con el 14.43% de la abundancia total. Como ya se mencionó antes, esta especie no ha sido registrada para el Caribe mexicano, sin embargo Lemus-Santana *et al.* (2014a) observaron que es el heterópodo más abundante (60%) en aguas neríticas del sur del Golfo de México. En concordancia, van der Spoel (1996a) menciona que esta especie es la más común entre los atlántidos.

Nueve taxones registraron valores inferiores al 5% de la abundancia total: juveniles del género *Diacavolinia*, *Limacina lesueurii*, *Limacina trochiformis*, *Firoloida desmarestia*, juveniles del género *Cavolinia*, *Diacavolinia* sp., *Cavolinia* sp., *Diacavolinia longirostris* y *Limacina bulimoides* (Tabla 4).

Limacina lesueurii registró el 4.03% de la abundancia total de moluscos holoplanctónicos recolectados. Suárez-Morales y Gasca (1998) en las costas del Caribe mexicano registraron a esta especie como una de las menos abundantes representando el 1.24% de la abundancia total. Asimismo, Parra-Flores y Gasca (2009), quienes analizaron la fauna de pterópodos en el Caribe occidental, observaron que esta especie presentó abundancias bajas (0.01%). Van der Spoel y Dadon (1999) mencionan que esta especie es poco abundante en aguas neríticas. Los resultados de este estudio apoyan las observaciones de estos autores.

Limacina trochiformis se registró en Majahual con densidades de 1 a 5 ind/100 m³ (Figura 10) y representó el 3.60% de la abundancia total (Tabla 4). Al igual que este estudio Suárez-Morales y Gasca (1998) en el Caribe mexicano observaron bajas densidades (1.85 ind/100 m³). Flores-Coto *et al.* (2013), quienes exploraron las aguas neríticas del Golfo de México, registraron a esta especie como la segunda más abundante (57% de la abundancia total) observando su clara afinidad nerítica.

Firoloida desmarestia representó el 2.33% de la abundancia total y sólo fue observada en la localidad de Majahual, principalmente en estaciones lejanas a la línea de costa (Figura 8). En el Golfo de México y en el Caribe mexicano, Castellanos y Suárez-Morales (2001) la registraron como la especie más abundante presentándose en aguas neríticas y oceánicas. Lemus-Santana *et al.* (2014a) observaron que *F. desmarestia* es la tercer especie más abundante representando el 12% de la abundancia total al sur del Golfo de México, e indican que es una de las especies dominantes del grupo de los heterópodos.

Lemus-Santana *et al.* (2015) observó que la afinidad oceánica de esta especie explica su baja densidad en aguas neríticas, lo que coincide con los registros de este estudio.

Cavolinia sp. Se recolectaron dos especímenes de este género, sin embargo, el grado de fragmentación de la concha, dificultó su identificación específica. Estudios previos han registrado la presencia de *C. trispinosa*, *C. uncinata* y *C. inflexa* en aguas del Caribe mexicano (González, 1998; Parra-Flores y Gasca, 2009).

Diacavolinia longirostris se registró en una sola estación de Majahual, cercana a la costa (Figura 15). En el Caribe mexicano esta especie sólo ha sido registrada por Parra-Flores y Gasca (2009) aunque con bajas densidades promedio de 0.09 ind/100 m³ durante el día a 0.20 ind/100 m³ durante la noche. En concordancia, Lemus-Santana *et al.* (2014b) observa densidades bajas de *D. longirostris* (0.21 a 1.36 ind/100 m³) en el Golfo de México.

Limacina bulimoides se presentó en una estación de Majahual con baja abundancia (Figura 9, Tabla 4). En concordancia, Suárez-Morales y Gasca (1998) la registraron con baja densidad en la región de estudio. Matsubara-Oda (1975) observó que *L. bulimoides* se distribuye en aguas lejanas a la costa en la Bahía de Campeche y Suárez (1994) menciona que *L. bulimoides* se distribuye de los 50 a 100 m en la columna de agua.

Factores ambientales que influyen en la distribución de los moluscos holoplanctónicos en las costas de Majahual

Como ya se señaló anteriormente, el Análisis de Regresión por Árboles se aplicó únicamente a la región de Majahual debido a que en esta localidad hubo una mayor cobertura de muestreo. En este análisis se utilizaron como variables explicativas la salinidad, temperatura y disponibilidad de alimento (biomasa zooplanctónica) y como variable de respuesta la densidad de moluscos holoplanctónicos. El análisis reveló que la temperatura fue el principal factor sobre la distribución de los moluscos, seguido por la biomasa (Figura 19). Lalli y Gilmer (1989) señalan que estos moluscos son particularmente sensibles a los cambios en las condiciones ambientales, así su distribución y abundancia puede verse afectada por alteraciones en la temperatura, salinidad, profundidad, así como de la productividad del ambiente. Zhang (1966) y Dadon (1990) realizaron estudios de la abundancia y distribución de los pterópodos e indican que la temperatura es uno de los factores principales que afectan la abundancia estacional de los pterópodos. Por su parte, Schalk (1990) menciona que la temperatura y la disponibilidad de alimento influyen en el crecimiento y la morfología de la concha de los pterópodos, lo que eventualmente afectaría la densidad de estos organismos. Recientemente, Lischka *et al.* (2011) señalan que la temperatura tiene un efecto significativo en la mortalidad de las especies de estos moluscos. En contraste, otro ejemplo lo constituye la bahía de Chetumal en donde Gasca y Castellanos (1993) observaron a la salinidad como el factor físico de mayor influencia en la abundancia y distribución de los moluscos holoplanctónicos. Por tanto, los factores ambientales que influyen sobre la distribución de moluscos pelágicos dependen de las áreas y variabilidad de condiciones en cada una de ellas.

CONCLUSIONES

Este trabajo contribuye de manera importante al estudio de la composición, distribución y abundancia de los moluscos holoplanctónicos en el Caribe mexicano, así como al conocimiento de la influencia que tienen los factores ambientales sobre la estructura de la comunidad de estos moluscos.

Los resultados indicaron que los valores de biomasa zooplanctónica y de densidad de moluscos holoplanctónicos fueron bajos, lo que concuerda con las investigaciones previas efectuadas en la misma zona de estudio. Estos registros están relacionados con la presencia de un ambiente oligotrófico como lo son las aguas del Mar Caribe.

De los dos órdenes registrados, Thecosomata fue el más diverso y abundante, cualidades que concuerdan con su amplia distribución en todos los ambientes marinos, así como a la diversidad de adaptaciones a la vida planctónica que presentan.

Dentro de las familias, Creseidae fue la más abundante lo cual se relaciona con la presencia de plasticidad genética que le confiere la capacidad de invadir diversos ambientes. A nivel específico, se identificaron un total de ocho especies, de las cuales *Creseis clava* y *Limacina inflata* fueron dominantes, estas especies se caracterizan por presentar una afinidad nerítica y por ser abundantes en las aguas tropicales. *Atlanta lesueurii* puede ser considerada como una especie rara de la comunidad pues no se ha registrado en los estudios anteriores del Caribe mexicano, sin embargo, ha sido observada al sur del Golfo de México.

Con base en el Análisis de Regresión por Árboles, se identificó que la temperatura y biomasa (relacionada con la disponibilidad de alimento) son los factores que influyen sobre la abundancia y distribución de los moluscos holoplanctónicos. Los resultados de este análisis son congruentes con la sensibilidad de estos organismos a los cambios de temperatura y productividad secundaria en los ambientes marinos.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, D. 1998. *Estructura de la comunidad bentónica del arrecife de Mahahual, Quintana Roo, México*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional, 81 p.
- Álvarez-Cadena, J., U. Ordóñez-López, D. Valdez-Lozano, A. Almaral-Mendivil y A. Uicab-Sabio. 2007. Estudio anual de zooplancton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, Mar Caribe de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 8: 421-430.
- Álvarez-Filip, L., M. Millet-Encalada y H. Reyes-Bonilla. 2009. Impact of hurricanes Emily and Wilma on the coral community of Cozumel Island, Mexico. *Bulletin of Marine Science* 84(3): 295-306.
- Angulo-Campillo, O., G. Aceves-Medina y R. Avedaño-Ibarra. 2011. Holoplanktonic mollusks (Mollusca: Gastropoda) from the Gulf of California, Mexico. *Check List* 7(3): 337-342.
- Athié, G., J. Candela, J. Sheinbaum, A. Badanf y J. Ochoa. 2011. Yucatan Current variability through the Cozumel and Yucatan channels. *Ciencias Marinas* 37(4): 471-492.
- Breiman, L., J.H. Friedman, R.A. Olshen y C.G. Stone. 1984. *Classification and regression trees*. Wadsworth International Group, Belmont, California, 358 p.
- Castellanos-Osorio, I. y E. Suárez-Morales. 1997. Observaciones sobre el zooplancton de la zona arrecifal de Mahahual, Quintana Roo (Mar Caribe mexicano). *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 68(2): 237-252.
- Castellanos, I. y E. Suárez-Morales. 2001. Heteropod molluscs (Carinariidae and Pterotracheidae) of the Gulf of Mexico and the Western Caribbean Sea. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Autónoma de México, Serie Zoología* 72(2): 221-232.
- Chávez, G., J. Candela y J. Ochoa. 2003. Subinertial flows and transports in Cozumel Channel. *Journal of Geophysical Research* 108(C2): 3037.

- Corse, E., J. Rampal, C. Cuoc, N. Pech y A. Gilles. 2013. Phylogenetic analysis of Thecosomata Blainville, 1824 (Holoplanktonic Opisthobranchia) using morphological and molecular data. *PLoS ONE* 8: E59439.
- Cruz, M. 2012. Preferencia y rangos de tolerancia a la temperatura y salinidad de los pterópodos y heterópodos frente a la costa ecuatoriana. *Acta Oceanográfica del Pacífico* 17(1): 93-125.
- Dadon, J. R. 1990. Annual cycle of *Limacina retroversa* in Patagonian Waters. *American Malacological Bulletin* 8(1): 77-84.
- Espejel-Montes, J. 1983. Biología acuática, descripción general de los recursos bióticos y económicos. Pp. 195-215. In: Centro de Investigaciones de Quintana Roo/SEDUE. 1983. *Sian Ka'an, Estudios Preliminares de una Zona de Quintana Roo. Propuesta como Reserva de la Biosfera*. CIQRO, Puerto Morelos, México, 215 p.
- Flores-Coto, C., L. Sanvicente-Añorve, R. Pineda-López y M.A. Rodríguez-van Lier. 1988. Composición, distribución y abundancia ictioplanctónica del sur del Golfo de México. *Universidad y Ciencia* 5(9): 65-84.
- Flores-Coto, C., H. Arellanes, J. Sánchez y A. López. 2013. Composición, abundancia y distribución de Pteropoda (Mollusca: Gastropoda) en la zona nerítica del sur del Golfo de México (Agosto, 1995). *Hidrobiológica* 23(3): 348-364.
- García, E. 1973. *Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 219 p.
- García, E. 2003. Distribución de la precipitación de la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM* 50: 67-76.
- Gasca, R. 1992. Heterópodos de la Bahía de la Ascensión, Quintana Roo. Pp. 123-127. In: D. Navarro y E. Suárez-Morales (Eds), *Diversidad Biológica de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México II*. Centro de investigaciones de Quintana Roo/SEDESOL. Chetumal, México, 424 p.
- Gasca, R. e I. Castellanos. 1993. Zooplancton de la Bahía de Chetumal, Mar Caribe, México. *Revista de Biología Tropical* 43(3): 595-604.
- Gasca, R. y E. Suárez-Morales. 1992. Pterópodos (Mollusca: Thecosomata) de la Bahía de la Ascensión, Quintana Roo. Pp. 115-121. In: D. Navarro y E. Suárez-Morales (Eds),

- Diversidad Biológica de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo, México II*. Centro de Investigaciones de Quintana Roo/SEDESOL. Chetumal, México, 424 p.
- Gasca, R. y A.W. Janssen. 2013. Taxonomic review, molecular data and key to the species of Creseidae from the Atlantic Ocean. *Journal of Molluscan Studies* 80: 35-42.
- González, N.E. 1998. Moluscos de la expedición del R/V *Edwin Link* en las costas del Caribe mexicano. *Revista de Biología Tropical* 46(3): 625-631.
- Jordán-Dahlgren, E., E. Martín-Chávez, M. Sánchez-Segura y A. González-de la Parra. 1994. The Sian Ka'an Biosphere Reserve coral reef system, Yucatan Peninsula, Mexico. *Atoll Research Bulletin* 423: 1-31.
- Kennish, M.J. 1986. *Ecology of estuaries. Vol. I. Physical and chemical aspects*. CRC Press, Boca Raton, 254 p.
- Klussmann-Kolb, A. y A. Dinapoli. 2006. Systematic position of the pelagic Thecosomata and Gymnosomata within Opisthobranchia (Mollusca, Gastropoda) -revival of the Pteropoda. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 44: 118-129.
- Lalli, C. y R.W. Gilmer. 1989. *Pelagic snails. The biology of holoplanktonic gastropod mollusks*. Stanford University Press, Stanford, 259 p.
- Leal, R.D. 1965. Distribución de pterópodos de Veracruz. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México* 36: 249-251.
- Lemus-Santana, E. 2009. *Distribución y abundancia de moluscos holoplanctónicos en el sur del Golfo de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 95 p.
- Lemus-Santana, E. 2011. *Estructura de la comunidad de moluscos holoplanctónicos en el sur del Golfo de México*. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 147 p.
- Lemus-Santana, E., L. Sanvicente-Añorve, M. Hermoso-Salazar y C. Flores-Coto. 2014a. The holoplanktonic Mollusca from the southern Gulf of Mexico. Part 1: Heteropods. *Cahiers de Biologie Marine* 55: 229-239.

- Lemus-Santana, E., L. Sanvicente-Añorve, M. Hermoso-Salazar y C. Flores-Coto. 2014b. The holoplanktonic Mollusca from the southern Gulf of Mexico. Part 2: Pteropods. *Cahiers de Biologie Marine* 55: 241-258.
- Lemus-Santana, E., L. Sanvicente-Añorve, M.A. Alatorre-Mendieta y C. Flores-Coto. 2015. Population structure and mating encounter rates in a marine pelagic invertebrate, *Firoloida desmarestia* (Mollusca). *Sexuality and Early Development in Aquatic Organisms* 1: 163-173.
- Lischka, S., J. Büdenbender, T. Boxhammer y U. Riebesell. 2011. Impact of ocean acidification and elevated temperatures on early juveniles of the polar shelled pteropod *Limacina helicina*: mortality, shell degradation, and shell growth. *Biogeosciences* 8: 919-932.
- Logan, B.W., J.L. Harding, W.M. Ahr, J.C. Williams y R.G. Snead. 1969. Late Quaternary carbonate sediments in Yucatan shelf, Mexico. Pp 42-69. In: B.W. Logan, M.N. Bass, D.E. Cebulski y A.R. McBirney (Eds), *Carbonate sediments and reefs, Yucatan shelf, Mexico*. American Association of Petroleum Geologists Memoir 11, 5-128 p.
- Matsubara-Oda, J.A.K. 1975. *Sistemática, distribución, abundancia y relaciones ambientales de los pterópodos tecosomados de la Bahía de Campeche, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 51 p.
- Merino, I.M. 1986. Aspectos de la circulación costera superficial del Caribe mexicano, con base en observaciones utilizando tarjetas de deriva. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* 13(2): 31-46.
- Merino, I.M. 1992. *Afloramiento en la plataforma de Yucatán: estructura y fertilización*. Tesis Doctoral. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Autónoma de México, 255 p.
- Merino, M. y L. Otero. 1991. *Atlas ambiental costero Puerto Morelos, Quintana Roo*. Centro de Quintana Roo, Chetumal, 80 p.
- Moreno-Alcántara, M., G. Aceves-Medina, O. Angulo-Campillo y J.P. Murad-Serrano. 2014. Holoplanktonic molluscs (Gastropoda: Pterotracheoidea, Thecosomata and Gymnosomata) from the southern Mexican Pacific. *Journal of Molluscan Studies* 80(2): 131-138.

- Muckelbauer, G. 1990. The shelf of Cozumel, Mexico: topography and organisms. *Facies* 23(1): 185-240.
- Ochoa, J., H. Sheinbaum, A. Badan, J. Candela y D. Wilson. 2001. Geostrophy via potential vorticity inversion in the Yucatan Channel. *Journal of Marine Research* 59: 725-747.
- Parra-Flores, A. y R. Gasca. 2009. Distribution of pteropods (Mollusca: Gastropoda: Thecosomata) in surface waters (0-100 m) of the Western Caribbean Sea (winter, 2007). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(3): 647-662.
- Peréz-Rodríguez, R. 1980. *Moluscos de la plataforma continental del Golfo de México y Caribe mexicano*. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, 234 p.
- Rampal, J. 2002. Biodiversité et biogéographie chez les Cavoliniidae (Mollusca, Gastropoda, Opisthobranchia, Euthecosomata). Régions faunistiques marines. *Zoosystema* 24(2): 209-258.
- Richter, G. y R.R. Seapy. 1999. Heteropoda. Pp. 621-647. In: D. Boltovskoy (Ed.), *South Atlantic Zooplankton*, Vol. 1. Backhuys Publishers, Leiden, 868 p.
- Ruggieron, M., D. Gordon, T. Orrell, N. Bally, T. Bourgoïn, R. Brusca, T. Cavalier-Smith, M. Guiry y P. Kirk. 2015. A higher level classification of all living organisms. *PLoS ONE* 10(4): e0119248.
- Sanvicente-Añorve, L.E. 1990. *Comunidades ictioplanctónicas en el suroeste del Golfo de México*. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias del Mary Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 58 p.
- Sanvicente-Añorve, L.E., A. Hernández-Gallardo, S. Gómez-Aguirre y C. Flores-Coto. 2003. Fish larvae from a Caribbean estuarine system. Pp. 366-379. In: H.I. Browman y A.B. Skiftesvik (Eds). *The Big Fish Bang. Proceedings of the 26th Annual Larvae Fish Conference*. Institute of Marine Research, Bergen, 475 p.
- Sanvicente-Añorve, L., E. Lemus-Santana, C. Flores-Coto y M.A. Alatorre-Mendieta. 2013. Vertical segregation of holoplanktonic molluscs in the epipelagic layer, southern Gulf of Mexico. *Helgoland Marine Research* 67: 397-405.
- Schalk, P.H. 1990. Spatial and seasonal variation in pteropods (Mollusca) of Indo-Malayan waters related to water mass distribution. *Marine Biology* 105: 59-71.

- Strömberg, K.H.P., T. J. Smyth, J.I. Allen, S. Pitois y T.D. O'Brien. 2009. Estimation of global zooplankton biomass from satellite ocean colour. *Journal of Marine Systems* 78: 18-27.
- Suárez, E. 1994. Distribución de los pterópodos (Gastropoda: Thecosomata y Pseudothecosomata) del Golfo de México y zonas adyacentes. *Revista de Biología Tropical* 42(3): 523-530.
- Suárez-Morales, E. y R. Gasca. 1990. Variación dial del zooplancton asociado a praderas de *Thalassia testudinum* en una laguna arrecifal del Caribe mexicano. *Universidad y Ciencia* 7(13): 57-64.
- Suárez-Morales, E. y R. Gasca. 1998. Thecosome pteropod (Gastropoda) assemblages of the Mexican Caribbean Sea (1991). *The Nautilus* 112(2): 43-51.
- Suárez-Morales, E. y E. Rivera-Arriaga. 1998. Zooplancton e hidrodinámica en zonas litorales y arrecifales de Quintana Roo, México. *Hidrobiológica* 8: 19-32.
- Troccoli, L., J. Herrera-Silveira y F. Comín. 2004. Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico. *Hidrobiología* 519: 85-102.
- van der Spoel, S. 1996a. Heteropoda. Pp. 407-457. In: R. Gasca y E. Suárez (Eds), *Introducción al estudio del zooplancton marino*. ECOSUR-CONACYT. Chetumal, México, 711 p.
- van der Spoel, S. 1996b. Pteropoda. Pp. 459-528. In: R. Gasca y E. Suárez (Eds), *Introducción al estudio del zooplancton marino*. ECOSUR-CONACYT. Chetumal, México, 711 p.
- van der Spoel, S. y D. Boltovskoy. 1981. Pteropoda. Pp. 493-531. In: D. Boltovskoy (Ed.), *Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. INIDEP, Mar del Plata, 936 p.
- van der Spoel, S. y J.R. Dadon. 1999. Pteropoda. Pp. 649-706. In: D. Boltovskoy (Ed.), *South Atlantic Zooplankton*. Vol. 1. Backhuys Publishers, Leiden, 868 p.
- Vásquez-Yeomans, L., I. Castellanos, E. Suárez-Morales y R. Gasca. 2012. Variación espacio-temporal de la biomasa de zooplancton en un sistema estuarino del Caribe occidental durante dos ciclos anuales. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47(2): 213-225.

- Wall-Palmer, D., M.B. Hart, C.W. Smart, R.S.J. Sparks, A. Le Friant, G. Boudon, C. Deplus, y J.C. Komorowski. 2012. Pteropods from the Caribbean Sea: variations in calcification as an indicator of past ocean carbonate saturation. *Biogeosciences* 9: 309-315.
- Zhang, F. 1966. The pelagic molluscs of the China coast II: On the ecology of the pelagic molluscs of the Yellow Sea and the east China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica* 8: 13-28.

Apéndice

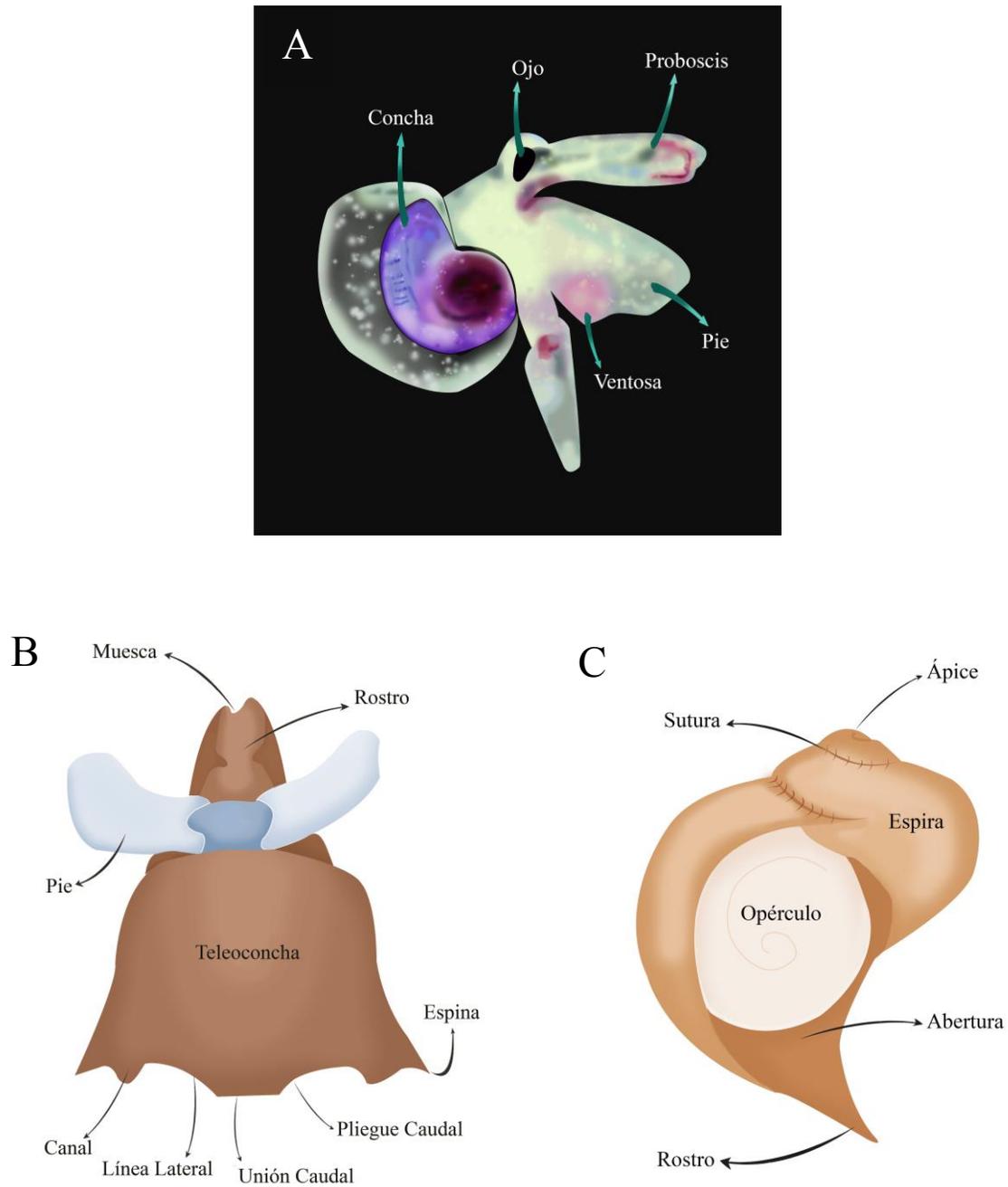


Figura 1. Morfología general de los moluscos holoplanctónicos. A) heterópodo; B) y C) pterópodos (Modificado de van der Spoel y Boltovskoy, 1981).

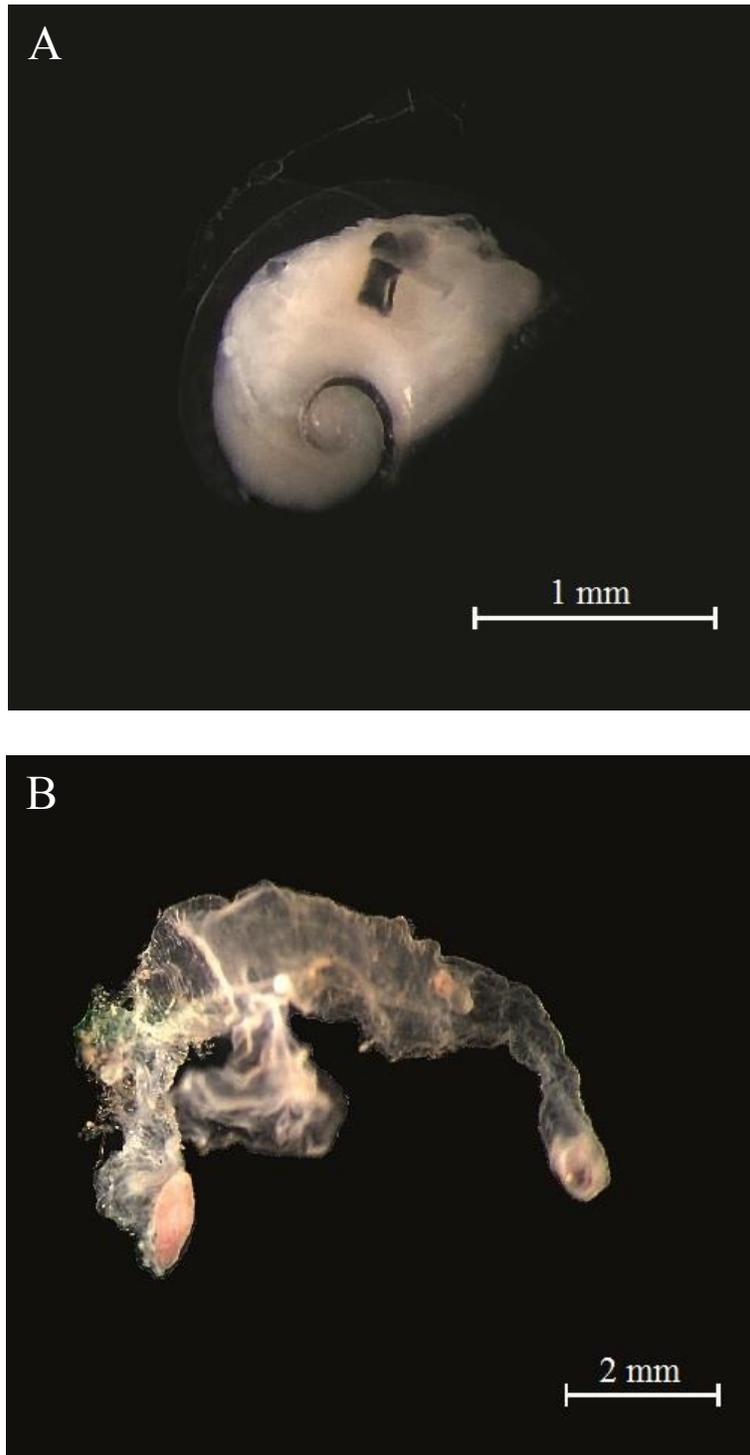


Figura 2. Especies de heterópodos encontrados en las costas del Caribe mexicano, frente a Cozumel, Punta Allen y Majahual, en abril de 2008. A) *Atlanta lesueurii*; B) *Firoloida desmarestia*.

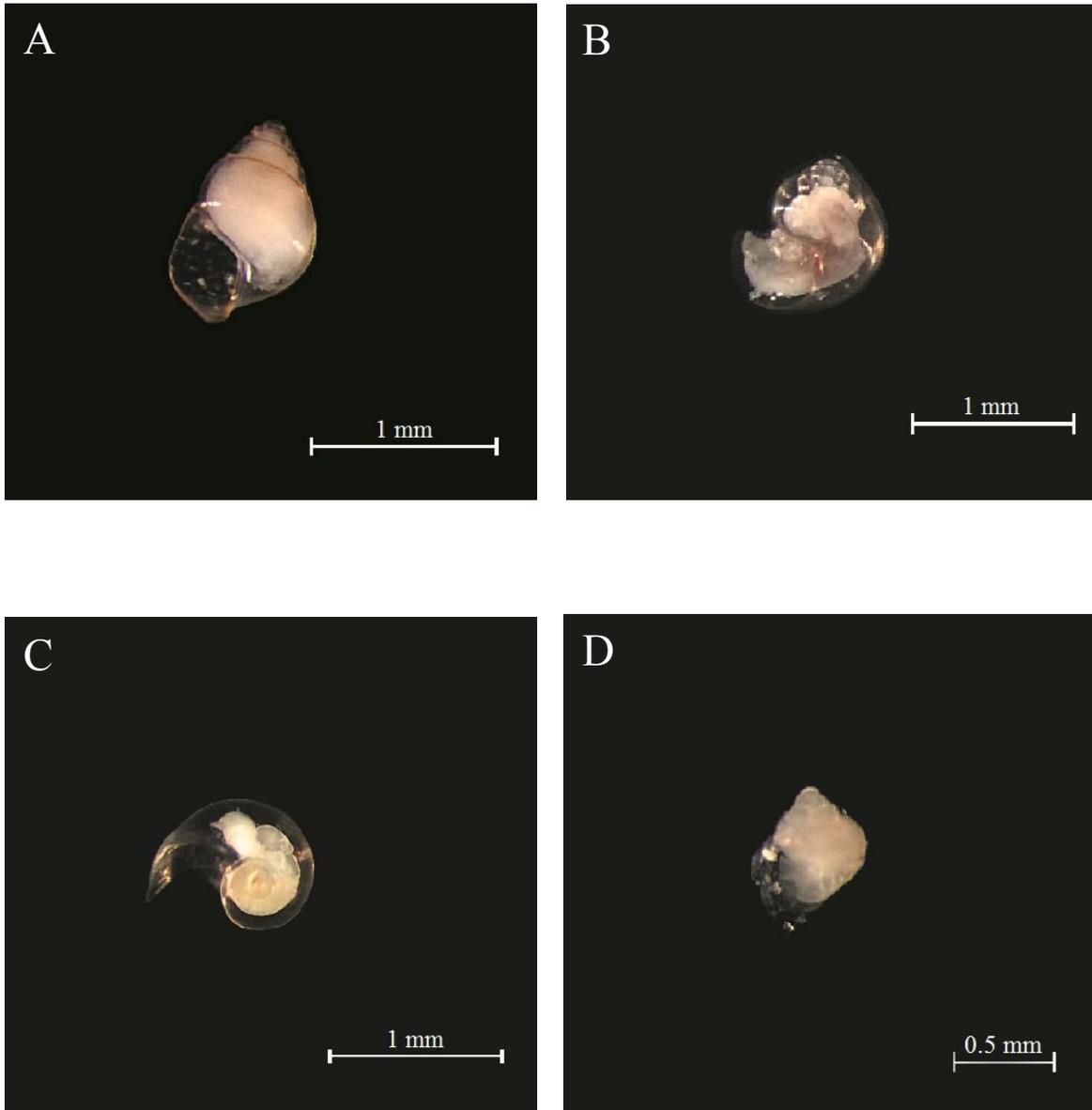


Figura 3. Especies de pterópodos encontrados en las costas del Caribe mexicano, frente a Cozumel, Punta Allen y Majahual, en abril de 2008. A) *Limacina bulimoides*; B) *Limacina trochiformis*; C) *Limacina inflata*; D) *Limacina lesueurii*.

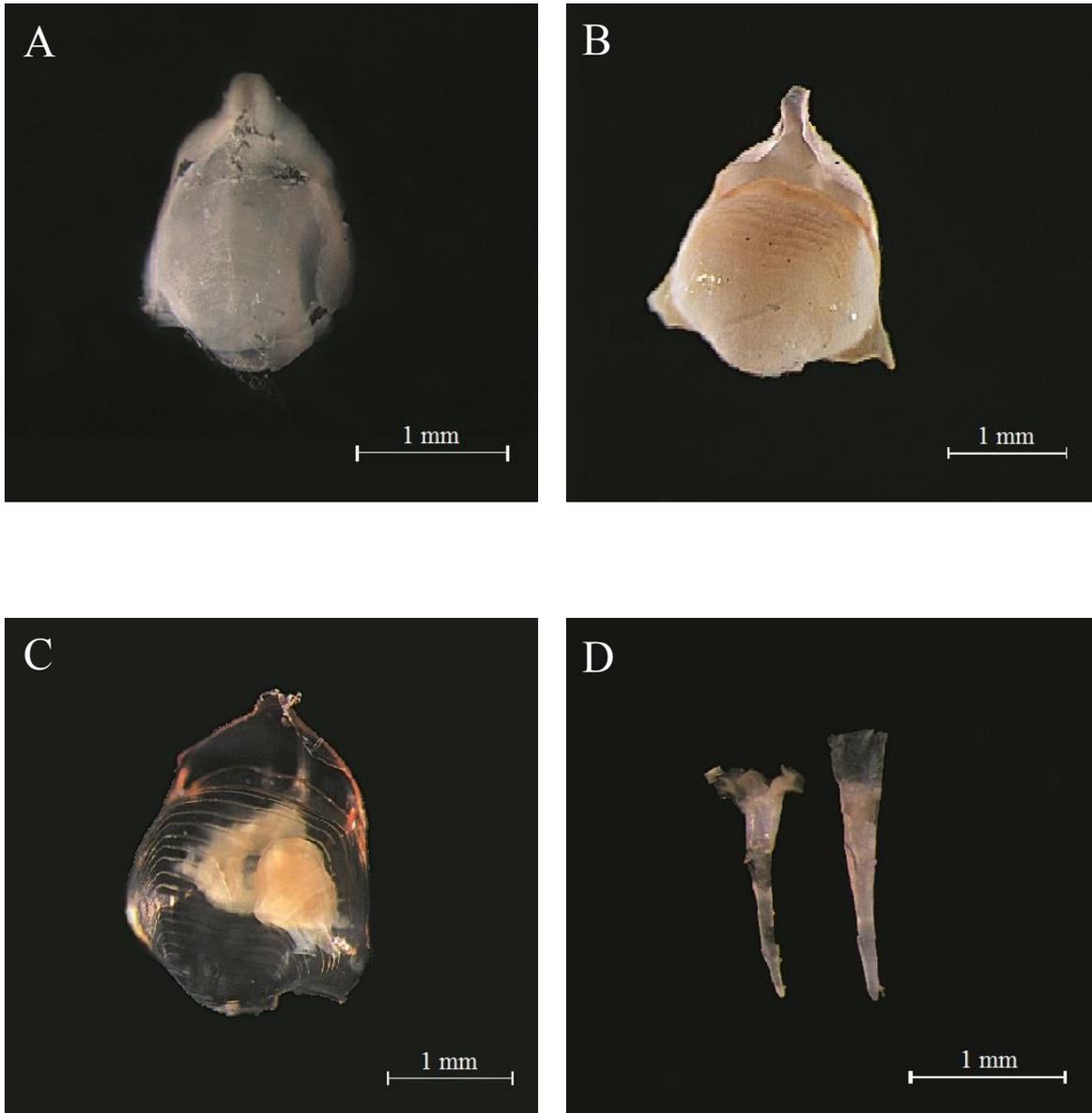


Figura 4. Pterópodos encontrados en las costas del Caribe mexicano, frente a Cozumel, Punta Allen y Majahual, en abril de 2008. A) *Cavolinia* sp.; B) *Diacavolinia longirostris*; C) *Diacavolinia* sp.; D) *Creseis clava*.

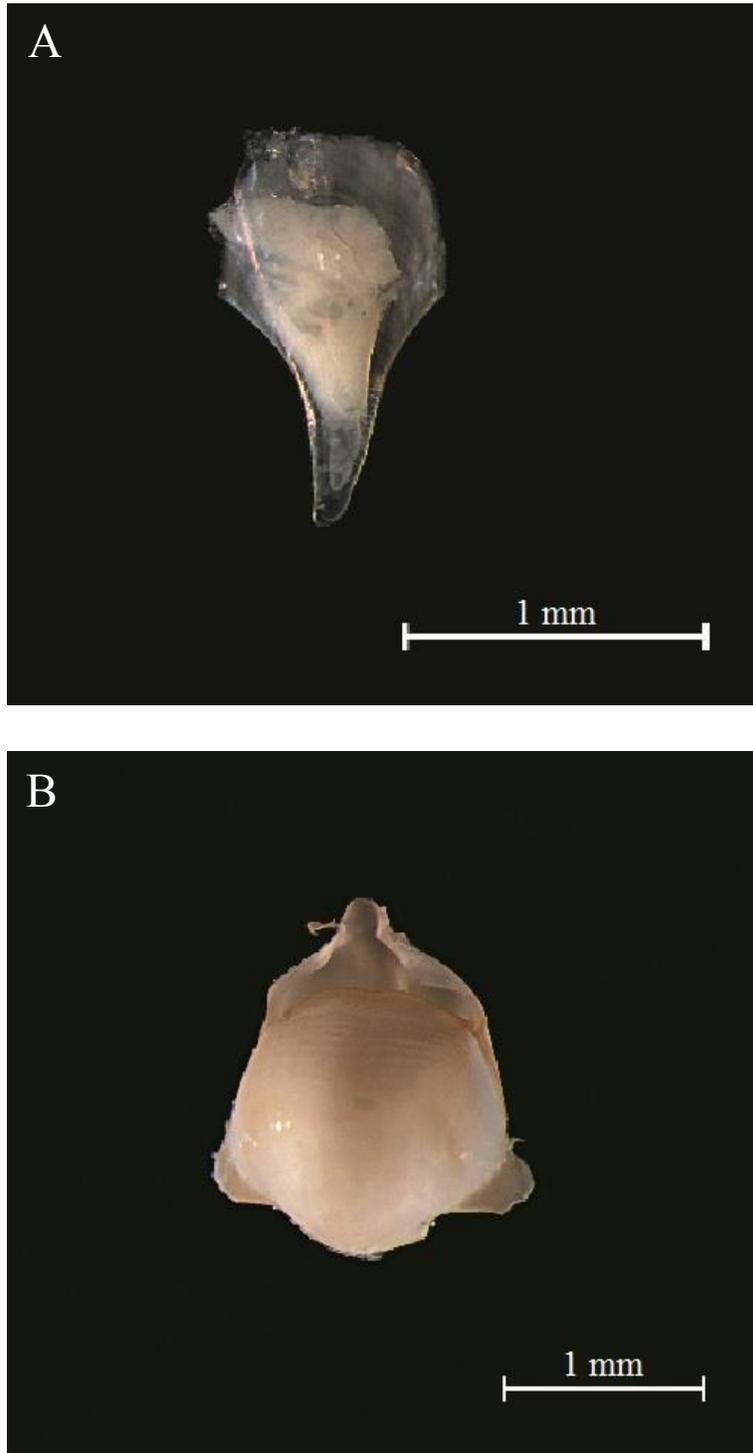


Figura 5. Pterópodos juveniles encontrados en las costas del Caribe mexicano, frente a Cozumel, Punta Allen y Majahual, en abril de 2008. A) *Cavolinia* sp.; B) *Diacavolinia* sp.