



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
Tesis que para obtener el título de:
Bióloga

**DISTRIBUCIÓN Y ABUNDANCIA DE MEDUSAS Y QUETOGNATOS EN
CUENCA ALFONSO, BAHÍA DE LA PAZ, GOLFO DE CALIFORNIA**

Presenta:

Mitzi Paulina De la Rosa Bernal

Director de tesis:

Dr. Erik Coria Monter

Jurado de examen:

Dr. Diego de Jesús Chaparro Herrera

Dra. Elizabeth Durán Campos

Dra. Rocío Fernández

Dr. Luis Alberto Oseguera Pérez

CDMX, octubre de 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

El muestreo y obtención de los datos provienen de la campaña PALEOMAR-III realizada a bordo del buque oceanográfico El Puma. El financiamiento para el tiempo de barco fue cubierto por la Universidad Nacional Autónoma de México.

Agradecemos sinceramente el apoyo de la Dra. María Adela Monreal-Gómez y del Dr. David Salas de León quienes nos brindaron el acceso a los datos y muestras utilizadas en este proyecto, así como el acceso a la infraestructura de sus laboratorios.

Al Dr. Erik Coria por siempre estar al pendiente de las dudas que me surgían, por todas las enseñanzas y el apoyo que me brindó durante mi estancia en el instituto, muchas gracias por todo.

A la Dra. Elizabeth Duran por tenerme paciencia con las dudas que tenía, sus enseñanzas, las observaciones y tiempo brindado durante este proceso.

Al Dr. Diego Chaparro Herrera, a la Dra. Rocío Fernández y al Dr. Luis Alberto Oseguera Pérez por sus observaciones y tiempo durante la realización de este trabajo.

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM por ser mi segunda casa durante estos años.

DEDICATORIA

A mi madre, Yolanda Bernal por siempre creer en mí, apoyar todas mis decisiones sin ningún cuestionamiento y hacer todos los esfuerzos necesarios para que yo pudiera concluir la carrera. Gracias por ser un apoyo incondicional en mi vida, por siempre estar orgullosa de mi y no rendirte ante las adversidades que se han presentado, no existen las palabras para agradecer todo lo que has hecho por mí, espero algún día poder retribuir un poco de lo que me has dado.

A mi padre, Carlos De la Rosa espero que donde sea que estés te sientas orgulloso de que logré todos los sueños de los que te hablaba cuando era niña.

A mi hermano Carlos por cuidarme, apoyarme cuando lo necesité y siempre expresar su orgullo hacia mí.

A mi hermana Ingrid por siempre escucharme cuando lo necesitaba, ayudarme a estudiar y creer en mí.

A mi hermana Jacqueline por todo el cariño y apoyo que me ha dado.

A mi abuelita por siempre preocuparse y dedicar sus oraciones hacia mí, brindar todo el apoyo que podía para que yo lograra mis sueños.

A mis mejores amigas Gretel, Alexandra y Adriana por siempre estar a mi lado en los mejores y peores momentos, por todas las experiencias que vivimos juntas. Espero sinceramente que sigan a mi lado en el futuro mientras cumplimos todos nuestros sueños.

A mis amigos, aquellos que me acompañan desde el bachillerato y a los que la universidad nos ayudó a encontrarnos, por compartir malos y buenos momentos conmigo.

CONTENIDO

Resumen	5
Introducción	6
Marco Teórico.....	7
Zooplankton	7
Medusas	8
Quetognatos	11
Factores abióticos y procesos hidrodinámicos que determinan su distribución y abundancia	12
Justificación.....	14
Antecedentes	15
Objetivos.....	17
Hipótesis	17
Área de estudio	17
Materiales y métodos.....	19
Resultados	20
Discusión.....	28
Conclusiones	31

RESUMEN

El presente proyecto analiza la distribución y abundancia (vertical y horizontal) de las medusas y quetognatos en el área de influencia de un vórtice ciclónico de mesoescala en Cuenca Alfonso, al interior de la Bahía de La Paz, durante la época de verano de 2017. Se realizó un crucero de investigación multidisciplinaria del 3 al 7 de agosto de 2017 a bordo del B/O El Puma de la UNAM, donde se adquirieron datos hidrográficos con ayuda de una sonda CTD (conductividad, temperatura y profundidad) SeaBird 19 en un total de 47 estaciones de muestreo. Se efectuaron capturas de organismos del zooplancton mediante redes de apertura-cierre (60 cm diámetro, 200 μm de apertura de malla) en cuatro diferentes profundidades (10, 30, 50 y 100 m) en un total de seis estaciones ubicadas en la región central de la bahía, en Cuenca Alfonso. La distribución horizontal de los parámetros hidrográficos a diferentes profundidades mostró la presencia de un núcleo frío y denso localizado en la porción central de la bahía, indicativo de la presencia de un vórtice ciclónico de mesoescala. Numéricamente, los quetognatos fueron los organismos más abundantes en las estaciones y profundidades analizadas, alcanzando valores de 1250 ind/100 m³. El análisis de la distribución y abundancia de los organismos de interés en este estudio fue heterogéneo. Horizontalmente, las medusas presentaron cambios en su abundancia dependiendo de la posición de las estaciones (centro-periferia) del vórtice ciclónico. Los quetognatos mostraron sus máximas abundancias en las estaciones localizadas en la periferia del vórtice y en las estaciones cercanas a la conexión con el Golfo de California, región donde se localiza un umbral batimétrico. Verticalmente, se observó que las máximas abundancias de ambos grupos se presentaron a 10 y 30 m de profundidad, en la región donde se localiza la termoclina, mientras que su abundancia disminuyó conforme aumentó la profundidad. Los resultados obtenidos mostraron que existe una clara dependencia por parte de los organismos de interés en función del centro-periferia de este vórtice, posiblemente como resultado de la afinidad de estos grupos para permanecer en aguas más cálidas, como las observadas en la periferia. En su conjunto estos resultados contribuyen al conocimiento de las medusas y quetognatos en la Bahía de La Paz, y resaltan la necesidad de realizar estudios multidisciplinarios, que involucren el análisis de las condiciones hidrográficas de la columna de agua para entender la distribución de los organismos del zooplancton de la región.

Palabras clave: Medusas; Quetognatos; Vórtices Ciclónicos; Bahía de La Paz; Golfo de California, Zooplancton.

INTRODUCCIÓN

El zooplancton está compuesto por un conjunto heterogéneo de organismos que se localizan tanto en aguas epicontinentales como marinas, los cuales juegan un papel fundamental en la transferencia de carbono dentro de las redes tróficas y en su flujo vertical en la columna de agua (Brierley, 2017). Dentro del zooplancton marino destacan, por su abundancia y posición en la cadena trófica, las medusas y los quetognatos, organismos que evolutivamente han desarrollado estrategias de movimiento que les permite posicionarse en ciertas regiones de la columna de agua. Entre los movimientos que podemos encontrar en ambos grupos se encuentran la natación intermitente, la cual permite que los organismos reduzcan el gasto de energía tomando descansos en ciertos lapsos. Con fines de alimentación, la natación está muy relacionada con los distintos receptores y se ha encontrado que los organismos suelen hacer pausas para captar material suspendido (alimento) en el medio (Ringelberg, 2010).

No obstante que ambos grupos de organismos han desarrollado evolutivamente diversas estrategias de movimiento a lo largo de la columna de agua que les permite posicionarse en regiones propicias para obtener alimento, numerosos estudios señalan el hecho de que la distribución, composición y abundancia de estos organismos en el océano depende, en gran medida, de la presencia de diversos procesos hidrodinámicos que se presentan a diferentes escalas espacio-temporales, tales como ondas internas, frentes, surgencias y vórtices que se vinculan a su vez con el transporte de energía y el abastecimiento de nutrimentos hacia la zona eufótica (ej. McGillicuddy *et al.*, 2007; McGillicuddy, 2016).

MARCO TEÓRICO

Zooplankton

Se le llama plancton a los organismos que se desarrollan en la columna de agua que pueden o no presentar locomoción, pero que no son capaces de sobreponerse al movimiento de las corrientes. Se puede dividir en dos grandes grupos: fitoplancton y zooplankton. En el grupo del zooplankton podemos encontrar animales muy diversos, tanto taxonómicamente como estructuralmente. Varían en tamaño, desde organismos microscópicos hasta medusas con varios metros de diámetro. Son un grupo heterótrofo, es decir requieren sustratos orgánicos para poder sintetizar y obtener carbono y otros productos esenciales (Johnson *et al.*, 2012).

Las especies animales difieren en su forma de alimentación y pueden ser herbívoros (consumen organismos fotosintéticos), carnívoros (solo consumen animales), detritívoros (consumen material orgánico muerto) y otros son omnívoros con dietas mixtas.

Se suele clasificar al zooplankton en diferentes categorías: según sus dietas, por su tamaño, por su hábitat (oceánico y nerítico) y según su ciclo de vida. En esta última podemos dividir al grupo en holoplancton que son organismos que pasan todo su ciclo de vida en la columna de agua, meroplancton que solo pasan una parte de su ciclo de vida en la columna de agua (generalmente como estadios larvales), epibentónicos son aquellos que pasan la mayor parte del tiempo en el fondo pero periódicamente (especialmente en la noche) se trasladan hacia la superficie de la columna de agua, y el neuston que se asocia principalmente a la superficie de agua, ya sea abajo o justo debajo de ella (Lalli & Parsons, 1997).

El zooplankton tiene adaptaciones específicas para poder sobrevivir en la columna de agua. Por ejemplo, presentan diferentes mecanismos de locomoción, entre los más comunes están los cilios, pero cada grupo tiene sus especificaciones. Las migraciones en la columna de agua también son un mecanismo de defensa, pueden agregarse cerca del fondo durante el día (y no ser vistos por depredadores visuales) y ascienden durante la noche (Lalli & Parsons, 1997).

Existen muchos depredadores para este grupo (zooplankton carnívoro y algunos peces) por lo que han desarrollado mecanismos de defensa, muchos son transparentes, otros desarrollan espinas o liberan productos químicos y algunos simplemente tienen muy desarrollada la detección de depredadores y así escapan fácilmente (Johnson *et al.*, 2012).

De la enorme diversidad de grupos de organismos que integran al zooplancton marino destacan, por su abundancia y por su papel en las cadenas tróficas pelágicas, las medusas y los quetognatos. Al ser organismos estrictamente carnívoros, ambos grupos son clave en la transferencia de carbono a través de las redes tróficas, y al ser alimento de diversos organismos situados en los niveles tróficos superiores, representan un eslabón importante a lo largo de toda la red trófica. A continuación, se describen las características morfológicas principales de ambos grupos y su importancia ecológica.

Medusas

Las medusas pertenecen al filo Cnidaria el cual contiene más de 11,000 especies, entre las cuales se incluyen anemonas, corales, medusas, hidras entre otras. La mayoría de las especies de este filo son marinas, mientras que solo el 0.002% son de agua dulce (Pechenik, 2014). Entre sus características morfológicas destaca su simetría radial, presentan una boca central que generalmente está rodeada de tentáculos, tienen dos capas de tejido vivo, una epidermis externa y gastrodermis interna y poseen una capa de mesoglea gelatinosa. La presencia de cnidoblastos es una de las características más importantes del grupo, son células urticantes las cuales utilizan como defensa y a las que se les atribuye el éxito del filo (Boltovskoy, 1999; Johnson *et al.*, 2012).

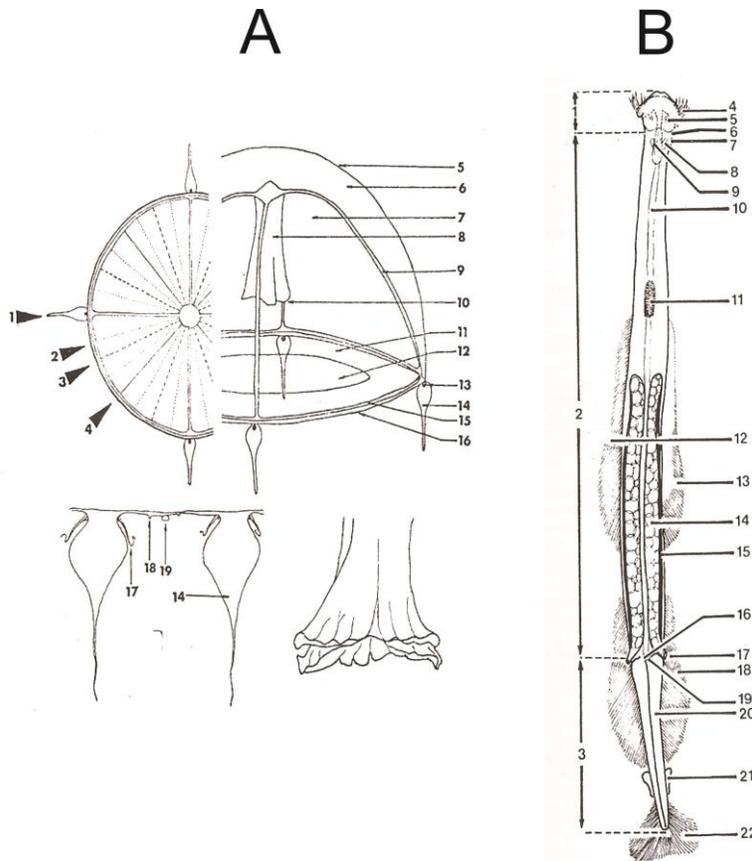


Figura 1. Morfología general de: A) medusas. 1) Perradio; 2) Subradio; 3) Adradio; 4) Interradio; 5) Exumbrella; 6) Mesodermo; 7) Cavity subumbrelar; 8) Estómago; 9) Canal Radial; 10) Boca; 11) Velo; 12) Orificio del velo; 13) Ocelo; 14) Tentáculo; 15) Canal Circular; 16) Borde umbrelar; 17) Cirro lateral; 18) Bulbo rudimentario; 19) Vesícula marginal, y B) ctenognatos. 1) Cabeza; 2) Tronco; 3) Cola; 4) Ganchos; 5) Ojos; 6) Septo anterior; 7) Cuello; 8) Divertículos intestinales; 9) Corona ciliada; 10) Intestino; 11) Ganglio ventral; 12-13) Aleta anterior; 14) Ovario; 15) Oviducto; 16) Septo posterior; 17) Gonoporo; 18) Aleta posterior; 19) Ano; 20) Testículo; 21) Vesícula seminal; 22) Aleta caudal. (Modificado de Boltovskoy, 1999).

Los cnidarios presentan principalmente dos formas, pólipo que es sésil y tiene una forma tubular con la boca y tentáculos posicionados hacia arriba, y de medusa con una forma de campana con la boca y tentáculos hacia abajo, además es apta para nadar. Algunas especies de cnidarios presentan estas dos formas en su ciclo de vida (Castro & Huber, 2007).

En cuanto a su alimentación, la mayoría de las especies son carnívoras salvo algunas excepciones como lo son los corales los cuales se alimentan de fitoplancton. Algunos corales presentan simbiosis con algas unicelulares que se alojan en sus tejidos por lo que pueden obtener nutrimentos adicionales (Pechenik, 2014).

A diferencia de otros grupos como las esponjas, los cnidarios ya presentan nervios, pero no tienen un sistema nervioso central desarrollado sino una red de células nerviosas, la cual puede transmitir impulsos a diferentes direcciones. Este sistema es capaz de producir comportamientos sofisticados. Por ejemplo, algunas anemonas pueden reconocer otras de su mismo grupo, las medusas tienen unas células especializadas llamadas estatocistos que les permiten un sentido del equilibrio, además algunas también presentan un tipo de ojos primitivos (Castro & Huber, 2007; Pechenik, 2014).

Su musculatura se compone de numerosas células endodérmicas y ectodérmicas las cuales poseen bases contráctiles y alargadas que se alojan en la mesoglea que, dependiendo de la dirección de la base, forman la musculatura longitudinal o circular, además estas células también pueden captar pequeñas partículas de alimento y digerirlas (Pechenik, 2014).

Ya que este grupo es muy diverso y cada especie presenta diferentes modificaciones de su ciclo de vida, solo algunas son consideradas en el grupo del zooplancton: las Hidromedusae, Cubomedusae y Scyphomedusae. Las características principales de estos grupos se presentan a continuación.

Hidromedusae

En este grupo se clasifican más de 3,000 especies. Tienen forma de campana, son transparentes y solo alcanzan a medir unos milímetros de diámetro, son principalmente marinas o mesohalinas, sus nematocistos solo se presentan en la epidermis (Jonhson *et al.*, 2012; Pechenik, 2014). La mayoría de las especies presentan un velo en la abertura de la boquilla el cual ayuda a aumentar la velocidad del flujo de agua. En el margen de la campana se pueden encontrar receptores de luz y estatocistos para ayudar a su orientación. Sus nematocistos le ayudan a capturar una gran cantidad de plancton (Jonhson *et al.*, 2012).

La presencia de hidromedusas es influenciada por la temperatura, además cada año cambia la abundancia, pero suelen estar presentes en las mismas épocas del año en periodos de tiempo similares (Jonhson *et al.*, 2012; Gravilli, 2016).

Scyphomedusae

Este grupo contiene menos de 200 especies, todas marinas con un intervalo de distribución global. Algunos ejemplares llegan a alcanzar grandes diámetros como *Cyanea capillata* con 2 m de diámetro y tentáculos de hasta 60 m (Jonhson *et al.*, 2012; Pechenik, 2014). En su ciclo de vida se incluye la forma de pólipo y medusa, los pólipos son capaces de producir quistes resistentes ante condiciones desfavorables. Sus estatocistos se presentan alrededor de la campana, y en algunos casos se encuentran asociados a fotosensores primitivos. Al igual que hidromedusae, este grupo presenta nematocistos que usan para cazar plancton y peces pequeños (Jonhson *et al.*, 2012).

Cubozoa

Son el grupo más pequeño con solo 25 especies. La fase medusa domina su ciclo de vida. Su campana tiene una forma de cubo, los individuos tienen cuatro tentáculos o racimos de tentáculos que emergen de las cuatro esquinas de la campana, algunos individuos con 2-3 cm de diámetro llegan a presentar tentáculos de hasta 30 cm de largo con nematocistos altamente urticantes. Se alimentan de peces pequeños, anélidos y crustáceos. Tienen un sistema nervioso más desarrollado y ojos complejos que probablemente puedan formar imágenes (Pechenik, 2014).

En México se tienen registradas un total de 289 especies de medusozoa pertenecientes a las clases Cubozoa (2 familias, 3 especies), Scyphozoa (7 familias, 20 especies) e Hidrozoa (52 familias, 266 especies). De las cuales 176 se han encontrado en el Pacífico, 167 en el Golfo de México y 161 en el Caribe mexicano. No se han reportado endemismos (Gasca & Loman-Ramos, 2014)

Quetognatos

Este filo está considerando entre los más pequeños dentro del zooplancton con tan solo 100 especies las cuales todas son marinas, el filo está dividido en dos clases Archisagittioidea (que incluye al fósil *Amiskwia sagittiformis*) y Sagittioidea que incluye a todos los quetognatos actuales (Ghirardelli, 1997). Son una de las especies más distintivas del plancton que se pueden encontrar comúnmente (Castro & Huber, 2007). Son organismos de talla pequeña

que no alcanzan a medir más allá de los 2 cm de longitud, tienen un cuerpo alargado, transparente, en la cabeza presenta de 6-7 espinas raptorales, ojos los cuales no le permiten formar imágenes, pero si puede detectar los cambios de intensidad de luz y movimiento, sus dientes le permiten tomar a su presa y pueden llegar a perforar el exoesqueleto. Para la locomoción tiene aletas con radios poco visibles y una cola. No tienen un sistema respiratorio especializado u órganos excretorios definidos. El intercambio de gases y el transporte de nutrimentos está dado por la circulación del fluido celómico (Jonhson *et al*, 2012; Pechenik, 2014).

Pertenecen al grupo de zooplancton carnívoro por lo que su sistema nervioso está bastante desarrollado, tienen un anillo de tejido nervioso rodeado de ganglios con nervios sensoriales y motores conectados los cuales se extienden a varias partes del cuerpo, asociándose así a varios estímulos como luces; este sistema les ayuda a cazar a sus presas fácilmente ya que sus cilios le permite sentir la vibraciones y así detectar la presencia y ubicación de los peces y crustáceos de los que se suele alimentar (Ghirardelli, 1997; Pechenik, 2014).

Como otras especies de plancton, los quetognatos migran en la columna de agua en forma descendente en el día y durante la noche ascienden a la superficie para evitar a sus depredadores y reducir la competitividad entre especies (Ghirardelli, 1997).

En México se cuentan con algunos registros entre ellos, Mille-Pagaza & Carrillo-Laguna (1999) estudiaron el grupo en el banco de Campeche encontrando 12 especies. Mille-Pagaza & Carrillo-Laguna (2003) registraron 13 especies en Tamaulipas. Mientras en el caribe mexicano, Álvarez-Cadena (2008) identificó 11 especies y respecto al Pacífico mexicano se tiene registro de 4 especies (Haro-Garay, 1983).

Factores abióticos y procesos hidrodinámicos que determinan su distribución y abundancia

En el medio marino existen limitaciones físicas y químicas, que se derivan de las propiedades del agua marina, otros factores son el resultado de las interacciones del medio marino con la atmósfera (Lalli & Parsons, 1997).

La radiación solar cumple un papel importante en este ecosistema, pues permite la producción de materia orgánica por medio de los organismos fotosintéticos. Las longitudes de luz son absorbidas y se convierten en calor, moderando así la temperatura. Este factor

controla la velocidad de las reacciones químicas y reacciones biológicas como el metabolismo, estas reacciones son más rápidas cuando la temperatura es alta y se vuelven más lentas cuando la temperatura es baja, pero en temperaturas extremas las enzimas dejan de funcionar (Lalli & Parsons, 1997; Castro & Huber, 2007).

Las variaciones en la temperatura y la salinidad determinan la densidad del agua, a medida que la salinidad aumenta la densidad también aumenta. Un aumento en la temperatura provoca un aumento en la distancia entre las moléculas lo que provoca que la densidad disminuya. Estos factores provocan que en el océano se presente un fenómeno de estratificación, es decir, la masa de agua se puede dividir en capas de diferente densidad. En mar abierto se pueden encontrar tres capas, 1) la *superficial* con temperaturas mayores y menor densidad, 2) la *termoclina* que es una región en donde ocurren cambios bruscos de temperatura y, por lo tanto, de densidad y 3) la *zona profunda* con aguas frías y mayor densidad que aumenta con la profundidad. Por lo tanto, estas variaciones de densidad en mar abierto están principalmente controladas por la temperatura.

Esta estratificación es una barrera para el intercambio de nutrientes y gases con la superficie, a mayor estratificación hay una disminución en la densidad de plancton en la superficie debido a que no existe un adecuado transporte de nutrientes (Karp-Boss *et al.*, 2005).

En la actualidad se ha reconocido que la presencia de diferentes procesos hidrodinámicos que ocurren en la columna de agua regula, en gran medida, la distribución de los organismos del plancton en el océano. Como se mencionó anteriormente, estos procesos ocurren a diferentes escalas espacio-temporales, produciendo mezcla en la columna de agua, entre los que destacan las ondas internas, surgencias y los vórtices (McGillicuddy *et al.*, 2007; McGillicuddy, 2016).

Los vórtices de mesoescala (diámetro entre 10-100 km) desempeñan un papel clave en la regulación de la productividad biológica del océano y la distribución del zooplancton (Chelton *et al.*, 2011; Stramma *et al.*, 2013). Los vórtices de mesoescala son procesos altamente energéticos que juegan un papel importante en el transporte de material suspendido, contribuyen de manera significativa al transporte de nutrientes entre áreas profundas y costeras, y afectan la distribución horizontal y vertical del plancton (McGillicuddy *et al.*, 2007). En el océano abierto se reconocen, al menos, tres clases de

vórtices de mesoescala: vórtices anticiclónicos, ciclónicos y de “media agua”. Los anticiclónicos provocan el hundimiento de aguas superficiales y, por lo tanto, una reducción local de la productividad primaria (McGillicuddy *et al.*, 2007). Por el contrario, los vórtices ciclónicos y de “media agua” dan como resultado un desplazamiento ascendente de la termoclina/picnoclina, y cuando son lo suficientemente intensos, pueden incrementar la producción planctónica y la exportación de materia orgánica (Bibby *et al.*, 2008).

JUSTIFICACIÓN

Debido a la enorme diversidad de organismos que integran el zooplancton marino, su estudio debe de ser abordado desde diferentes puntos de vista y a través de varios niveles de organización, que involucren además el uso de diferentes disciplinas y metodologías que permita contar con mejores elementos y, de esta manera, lograr una interpretación más profunda de cualquier ecosistema.

El estudio de la distribución (tanto vertical como horizontal) del zooplancton marino cobra particular relevancia en una época en la que se ha sido reconocido el impacto humano sobre el medio marino. Por ejemplo, el continuo aumento de las emisiones de dióxido de carbono hacia la atmósfera tiene fuertes repercusiones en los océanos, generando impactos negativos en algunos organismos del zooplancton. En este sentido, el evaluar aspectos de la distribución, composición y abundancia de estos organismos y su relación con los procesos físicos que ocurren en la columna de agua, permitiría contar con información de línea base y, en consecuencia, contar con mejores elementos para proponer acciones de manejo y conservación.

Por otro lado, los organismos que integran el zooplancton marino tienen fuertes repercusiones en la transferencia de carbono y energía a través de las redes tróficas pelágicas ya que se encuentran en los primeros niveles tróficos.

Esta red da inicio con el fitoplancton, los cuales obtienen su energía de productos inorgánicos; posteriormente el zooplancton herbívoro se alimenta de ellos; en los siguientes niveles tróficos se encuentra el zooplancton carnívoro y carnívoros mas pequeños que se alimentan de los anteriores, hasta llegar al último nivel trófico, el cual esta conformado por los animales que no tienen depredadores y finalmente las bacterias cumplen el papel de descomponer los desechos de estos animales y convertirlos en productos inorgánicos

poniéndolos a disposición de los organismos autótrofos. En todo este ciclo se presenta una transferencia de energía que inicia con la presencia de elementos inorgánicos como nitrógeno, carbono y fósforo los cuales son transformados en orgánicos por los productores primarios, pasando posteriormente a los animales, logrando así un flujo cíclico en la cadena. (Lalli & Parsons, 1997)

ANTECEDENTES

Algunos estudios han obtenido y analizado el patrón de circulación dentro de la Bahía de La Paz y a la fecha se ha tratado de integrar la información del ambiente físico y las respuestas de los organismos planctónicos dentro de la misma. Monreal-Gómez *et al.* (2001), analizaron la circulación en la bahía, la cual está dominada por la presencia de un vórtice ciclónico cuasi-permanente con influencia en los primeros 150 m de profundidad. Dicho vórtice ha sido reportado en diferentes estudios realizados en diferentes épocas climáticas: durante invierno (Rocha-Díaz *et al.*, 2021), a finales de primavera (Coria-Monter *et al.*, 2017), en verano (Sánchez-Mejía *et al.*, 2020), y durante la época de otoño (Ramos-de-la-Cruz *et al.*, 2021) Entre los estudios sobre el efecto del vórtice en la distribución de organismos planctónicos, destaca el de Sánchez-Velasco *et al.* (2006), quienes reportaron que la presencia del vórtice ciclónico conecta al Golfo de California con la bahía y que a ello se debe que organismos que se distribuyen sobre la región sur del golfo, se encuentren en el interior de la bahía y viceversa. Recientemente, se observó una distribución diferencial del fitoplancton asociada al vórtice ciclónico de la Bahía de La Paz, de manera que el centro estuvo dominado por dinoflagelados, mientras que la periferia estuvo dominada por diatomeas, lo cual fue asociado con diferentes procesos que incluyen: 1) el bombeo de nutrientes por parte del vórtice fertiliza la zona eufótica a lo cual responde el fitoplancton, 2) el sistema natatorio por parte de algunos dinoflagelados en contraste con la poca o nula movilidad de las diatomeas y 3) el pastoreo por parte de algunos dinoflagelados (Coria-Monter *et al.*, 2014). También, se ha observado que la presencia de este vórtice ciclónico retiene una composición de los grupos funcionales del zooplancton marcadamente diferente desde el centro a su periferia, lo que muestra un patrón de cambios progresivos relacionados con diversos mecanismos que

incluyen: 1) los hábitos alimenticios de cada grupo, el zooplancton herbívoro responde a la elevada abundancia de dinoflagelados, mientras que el omnívoro a la gran abundancia de diatomeas y 2) los mecanismos de movilidad por parte del zooplancton asegura su migración hacia regiones con abundante alimento (Durán-Campos *et al.*, 2015).

De los estudios que relacionen al ambiente abiótico, en particular con la distribución de medusas y quetognatos en la Bahía de La Paz, destaca el de Mojica-Ramírez (2008), quien destaca que los quetognatos son uno de los grupos que se presentan en mayor abundancia al interior de la bahía. Además, se encontró que la temperatura y la salinidad son los factores más importantes para la asociación de quetognatos (Ruíz-Boijseauneau, 2008).

Estudios en regiones adyacentes, han documentado que la riqueza de medusas se encuentra estrechamente relacionada con la profundidad y la temperatura de la columna de agua. Por ejemplo, Aranda Rodríguez (2008) realizó un estudio en el que determinó la riqueza de medusas en la bahía de Banderas, Nayarit, y encontró una relación entre la riqueza y la profundidad, al registrar que a mayores profundidades existe menor riqueza de especies; en cuanto a la abundancia encontró mayores valores en las zonas cercanas a la costa. Posteriormente, Zedillo-Avelleyra (2015) documentó abundancias mayores cerca de las zonas costeras en la misma bahía.

En el Caribe mexicano, Giles (2013) estudió las asociaciones de medusas, en el cuál encontró una relación entre la disponibilidad de alimento y la biomasa de medusas; además, identificó asociaciones dispuestas en dos niveles. En el primer nivel documentaron la fracción holoplanctónica y meroplanctónica en la cuál esta última mostró una mayor densidad de medusas, así como una alta diversidad y riqueza de especies. En el segundo nivel se encontraron cuatro asociaciones dadas por su ubicación, las diferencias en estas asociaciones fueron por la abundancia y composición de medusas. Las diferencias entre estas asociaciones pudieron ser dadas por la dinámica oceanográfica, el tipo de sustrato y la productividad.

Posteriormente, Gamero (2014) estudió la biomasa de medusas del género *Cassiopea* en diferentes temporadas climáticas (lluvias, nortes, secas); la mayor biomasa fue encontrada en la época de lluvias (julio) seguido por la de nortes y secas. Se propuso que el factor determinante de la variación fue la presencia de pastos marinos, el sustrato y el grado de exposición de las localidades al mar Caribe, la cantidad de recursos y las condiciones presentes en cada época de muestreo.

OBJETIVOS

General

Determinar la distribución y abundancia de las medusas y quetognatos y su relación con la hidrografía en la Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz.

Particulares

1. Identificar la estructura hidrográfica de la columna de agua.
2. Distinguir la distribución de las variables hidrográficas a diferentes profundidades.
3. Examinar la influencia de los procesos físicos en la distribución y abundancia de los grupos de organismos.

HIPÓTESIS

La distribución y abundancia de los organismos se relaciona con los factores bióticos, tales como recursos alimentarios y depredación, así como factores abióticos como son la temperatura y estratificación. Dichos factores son principalmente regulados por procesos físicos de mesoescala como son los vórtices. Si la abundancia y distribución de medusas y quetognatos esta sujeta a estas generalidades, se observará una heterogeneidad en estas características demográficas, de lo contrario, nuestros resultados serán homogéneos en la zona de muestreo.

ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía de La Paz se ubica en el margen suroriental de la península de Baja California, entre los 24. 15° y los 24. 97° N y los 110.30° y los 110.75° W; es la cuenca más grande dentro del Golfo de California (Figura 2). Se comunica con el Golfo de California mediante dos bocas: Boca Grande, al noreste y el Canal de San Lorenzo, al sureste. El límite sureste de Boca Grande se encuentra en la Isla Roca Partida. La batimetría muestra una región profunda con un máximo de 420 m, en Cuenca Alfonso (Figura 2). Hacia el sur disminuye la profundidad

gradualmente hasta llegar a una parte somera con pendiente suave y playas extensas. El Canal de San Lorenzo tiene una profundidad de aproximadamente 20 m. Un rasgo importante de la región es la presencia de un umbral batimétrico de alrededor de 250 m de profundidad a lo largo de Boca Grande, lo que aísla parcialmente a la bahía del golfo de California.

La masa continental que la rodea presenta un clima BW (h') hw (e'), seco y árido (Monreal-Gómez *et al.*, 2001). La temperatura media anual del aire es de 23.8 °C, la mínima se presenta en invierno con 8 °C y la máxima en verano con 37 °C. La cobertura de nubes es una de las más bajas de México; sólo ocurre cuando se presentan tormentas tropicales, lo que a su vez puede ocasionar lluvias y causar aportes de terrígenos a la bahía. La evaporación (300 mm/año) supera a la precipitación (180 mm/año) (Monreal-Gómez *et al.*, 2001).

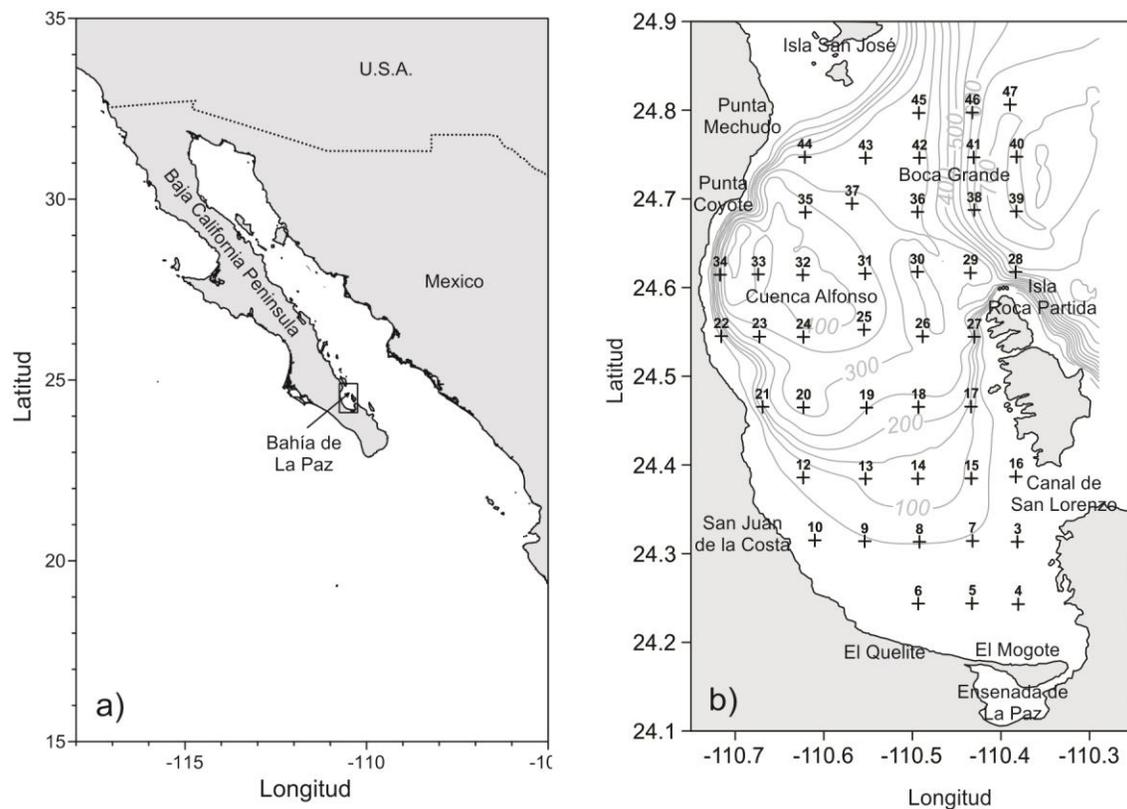


Figura 2. Localización del área de estudio y estaciones de muestreo. La batimetría se presenta en metros.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este proyecto se utilizó información hidrográfica de alta resolución y muestras de zooplancton colectadas con mecanismos de apertura/cierre en cuatro profundidades (10, 30, 50 y 100 m) y con una red con apertura de malla de 200 μm . La información hidrográfica y las colectas fueron realizadas durante el crucero de investigación PALEOMAR-III a bordo del B/O El Puma de la UNAM, en la Bahía de La Paz, que tuvo lugar del 3 al 7 de agosto de 2017.

Se obtuvieron datos hidrográficos en un total de 47 estaciones con un CTD Seabird 19 (Figura 2b). La salinidad y densidad se calcularon a partir de la conductividad, temperatura y presión, siguiendo los protocolos y algoritmos de la ecuación termodinámica del agua de mar (TEOS-10). Durante el procesamiento de los datos se aplicaron diferentes filtros con el objetivo de eliminar los brincos y el ruido, para finalmente promediar los datos a cada metro de profundidad. Para analizar el comportamiento de las variables hidrográficas a diferentes profundidades, se realizaron mapas de distribución horizontal mediante el software Surfer v13.

Se obtuvieron muestras de zooplancton en 6 estaciones (30, 31, 32, 35, 36 y 37, ver Figura 2b) ubicadas en la región central de la bahía (Cuenca Alfonso) mediante mecanismos de apertura-cierre General Oceanics en 4 profundidades (10, 30, 50 y 100 m) con una red de apertura de malla 200 μm provistas de flujómetros mecánicos General Oceanics. Las muestras fueron fijadas a bordo con formol al 4% con borato de sodio y trasvasadas 24 h después a etanol al 70% para su preservación final. En el laboratorio, la separación, cualificación y cuantificación del material colectado se realizó, a nivel de grupo, con ayuda de claves especializadas, tales como Boltovskoy (1999) y Tregouboff & Rose (1957). Los organismos contados fueron estandarizados a valores de densidad, número de individuos por 100 metros cúbicos ($\text{ind } 100 \text{ m}^{-3}$), con la expresión $N = Nm/V \times 100$ donde N es la abundancia (densidad) de cada grupo de zooplancton analizado por 100 m^{-3} de agua filtrada, Nm representa los grupos de organismos colectados, y V es el volumen de agua filtrado en metros cúbicos. Con el objetivo de analizar la distribución horizontal de cada grupo de interés a las diferentes profundidades de colecta, se realizaron mapas de distribución horizontal con ayuda del software Surfer v13.

RESULTADOS

En esta sección se describen los resultados hidrográficos para después mostrar la distribución de los organismos de interés de este proyecto.

Hidrografía

En los mapas de distribución horizontal de las variables hidrográficas a diferentes profundidades, se puede observar un núcleo frío y denso desde los 30 hasta los 200 m de profundidad, ubicados en la zona de Cuenca Alfonso. Mientras que el patrón de la salinidad coincide mayormente con la distribución de la temperatura, a baja temperatura la salinidad es menor y en temperaturas más cálidas la salinidad es mayor.

La distribución horizontal de la temperatura muestra un cambio en el patrón de las isótermas en las diferentes profundidades, aún se pueden observar lugares más cálidos que otros, pero no en las mismas regiones. La temperatura disminuye conforme aumenta la profundidad.

En la superficie (Figura 3), las temperaturas oscilan entre 28 y 29 °C y se encuentran 6 núcleos con temperatura de 28 °C rodeados por zonas más cálidas.

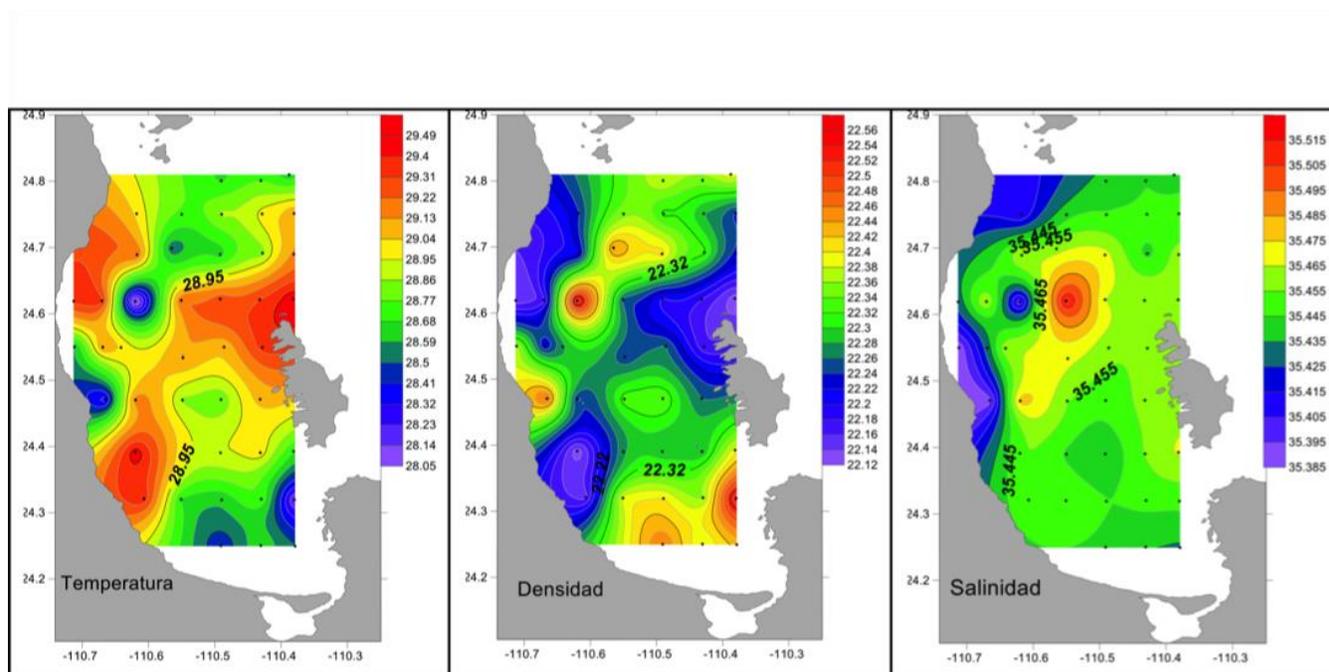


Figura 3. Distribución horizontal de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), densidad (kg m^{-3}) y salinidad (g kg^{-1}) en superficie.

A 10 m de profundidad (Figura 4), se observó una disminución en la temperatura mínima que alcanza 26°C , mientras que la temperatura máxima se mantiene en 29°C ; solo se presentan 2 núcleos con 26°C los cuales se ubican cerca de la costa. A 30 m de profundidad (Figura 5), se observaron temperaturas menores en el centro de la bahía, con una temperatura mínima de 16°C , formándose diferentes núcleos. A 50 m profundidad (Figura 6), se observó un solo núcleo con una temperatura desde los 17°C en el centro la cual aumenta hasta los 22°C . A 100 m de profundidad (Figura 7), presentaron dos núcleos de 15°C , uno significativamente más pequeño que el otro, pero ambos rodeados por temperaturas mayores de hasta los 16°C . Por último, a 200 m de profundidad (Figura 8) se observaron temperaturas menores, de entre 12 y 13°C , pero no se encuentran núcleos con temperaturas frías sino uno con temperaturas medias rodeado de cálidas hasta la línea de costa y una zona con menores temperaturas en el lado de la Boca Grande de la bahía.

En el caso de la distribución de la densidad coincide con el patrón de la temperatura en todas las profundidades muestreadas, en las zonas más frías la densidad es mayor.

En los mapas de salinidad se encuentran zonas más salinas rodeadas de otras con menor salinidad. En la superficie (Figura 3), se observan dos núcleos, uno con valores altos de salinidad y otro con valores menores y, alrededor de estos, zonas con salinidad media. A 10 m de profundidad (Figura 4), hay dos zonas muy marcadas: una en el lado de la Boca Grande de la bahía donde la salinidad es mayor y otra, en dirección a la costa donde la salinidad va disminuyendo. A 30 m de profundidad (Figura 5), la salinidad se observó con un intervalo entre 35.14 y 35.24 g kg^{-1} encontrando los valores más bajos cerca de la costa. A 50 m de profundidad (Figura 6), las zonas más salinas se encuentran al sur de la bahía y aumentan al acercarse a la costa. A 100 m de profundidad (Figura 7), se observó un núcleo de salinidad media, rodeado por una zona con salinidad mayor y, por último, a 200 m de profundidad (Figura 8) se observaron dos zonas, al norte de la bahía encontramos valores bajos y al sur valores altos; ambas zonas están divididas por valores de salinidad media.

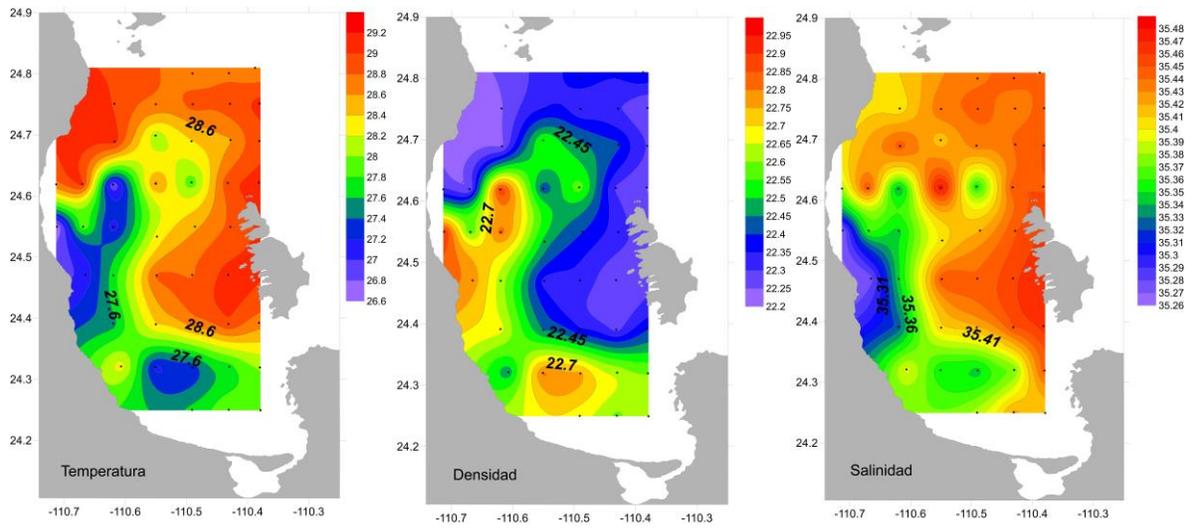


Figura 4. Distribución horizontal de temperatura (°C), densidad (kg m⁻³) y salinidad (g kg⁻¹) a 10 m de profundidad.

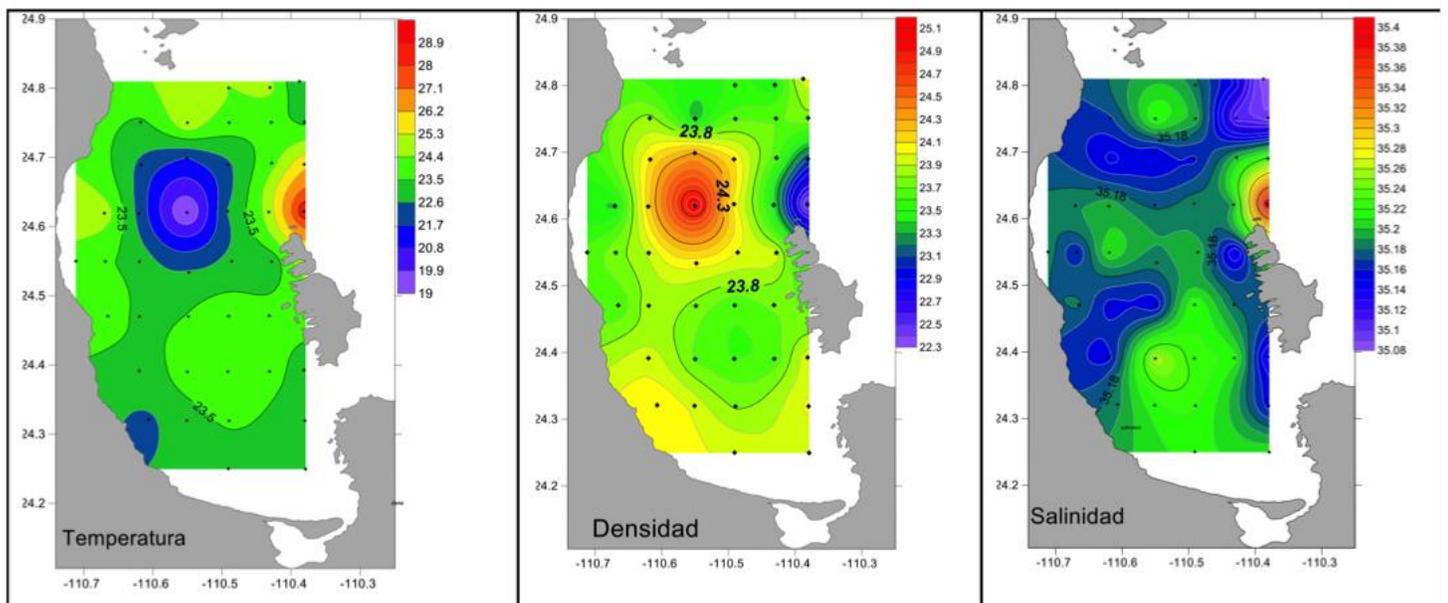


Figura 5. Distribución horizontal de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), densidad (kg m^{-3}) y salinidad (g kg^{-1}) a 30 m de profundidad.

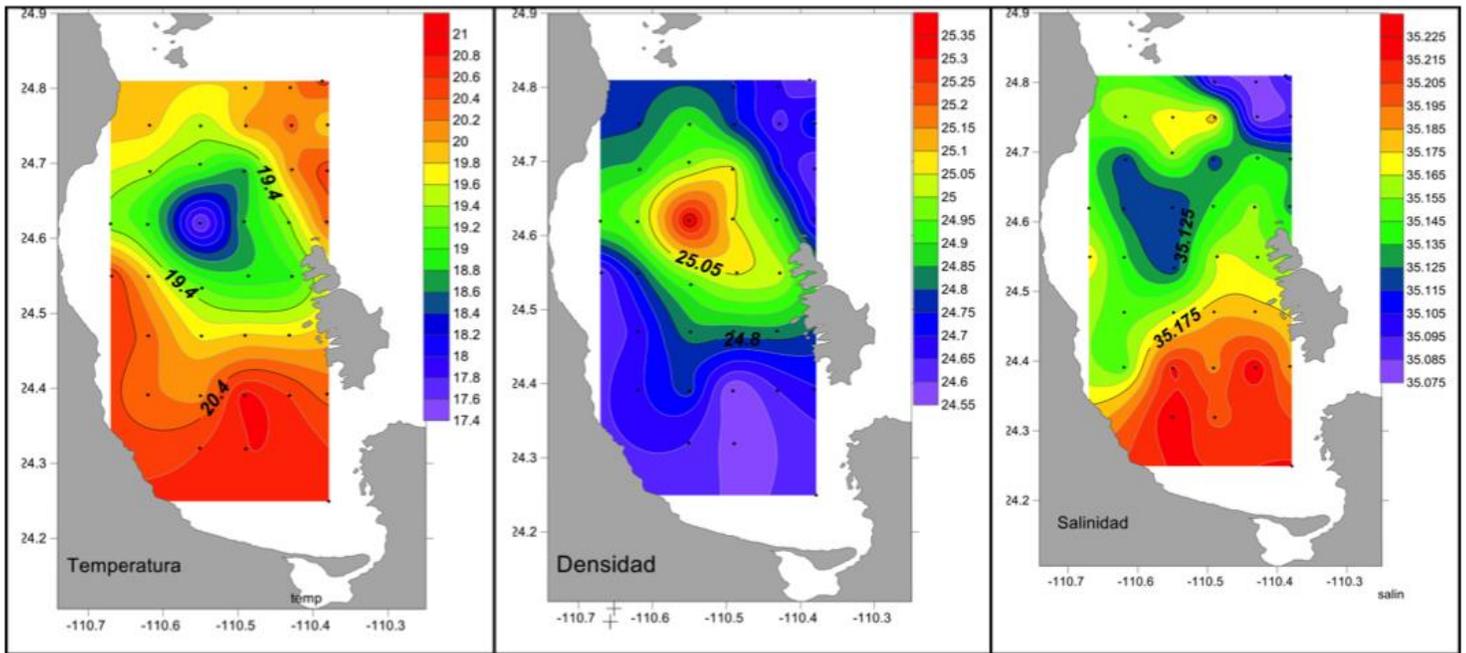


Figura 6. Distribución horizontal de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), densidad (kg m^{-3}) y salinidad (g kg^{-1}) a 50 m de profundidad.

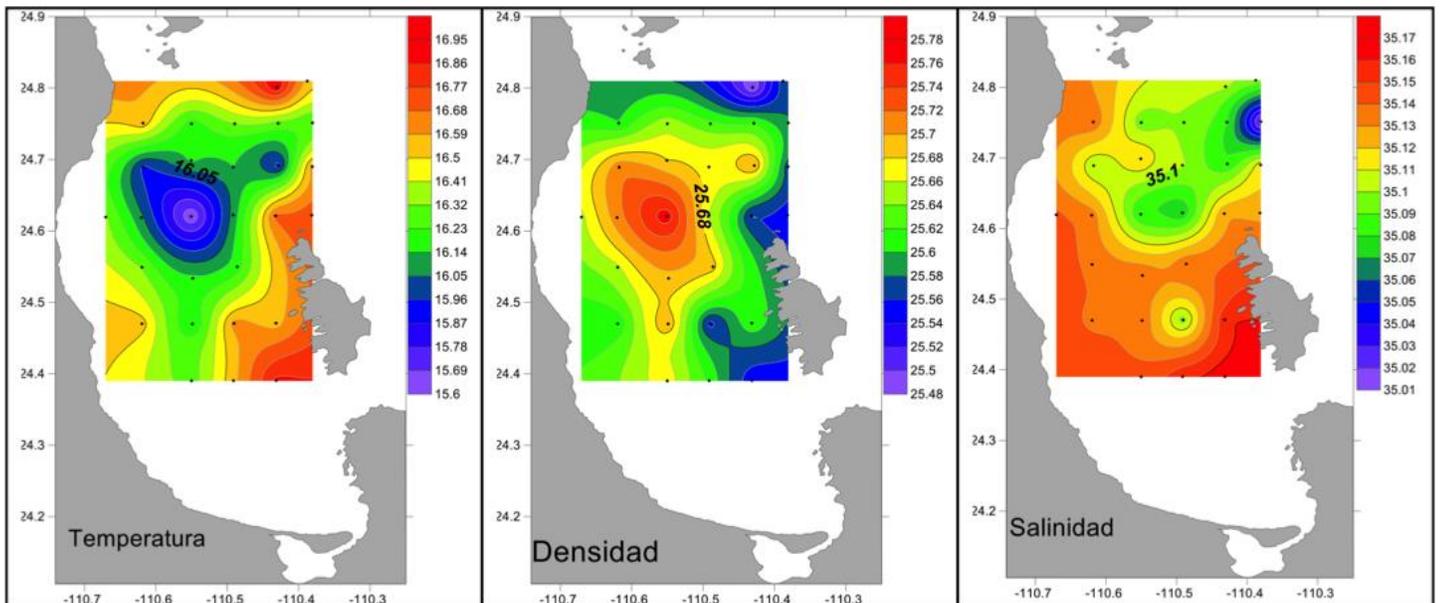


Figura 7. Distribución horizontal de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), densidad (kg m^{-3}) y salinidad (g kg^{-1}) a 100 m de profundidad.

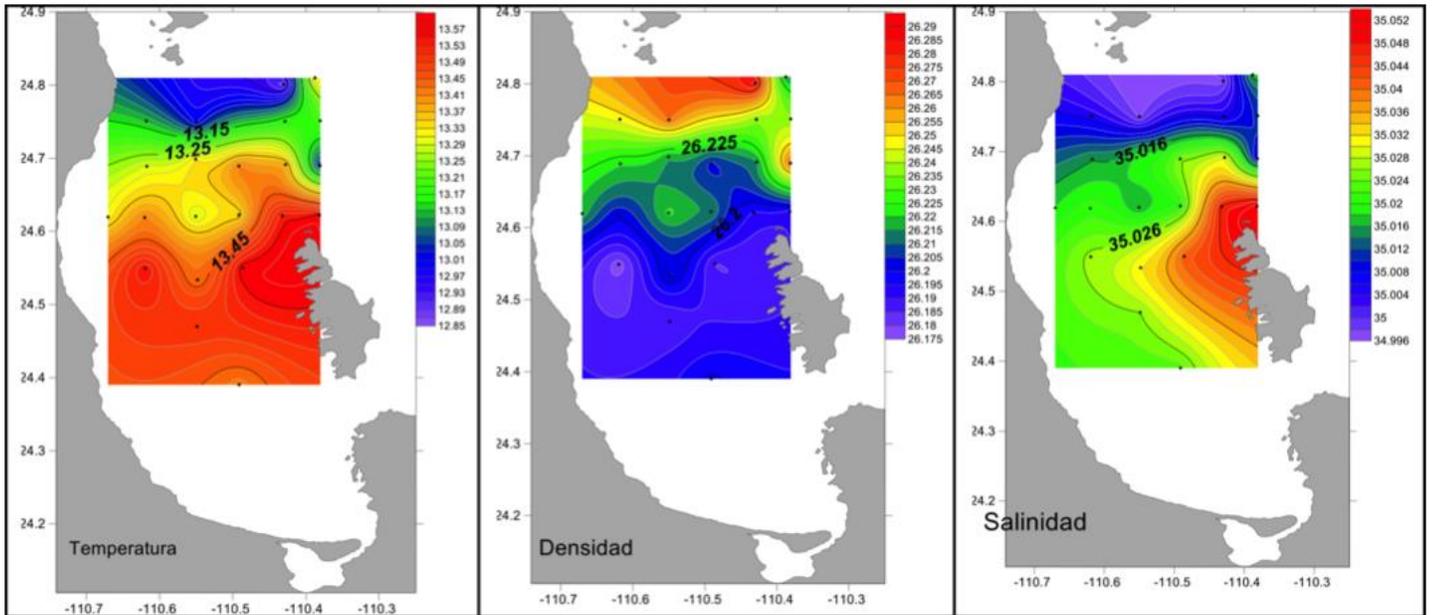


Figura 8. Distribución horizontal de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), densidad (kg m^{-3}) y salinidad (g kg^{-1}) a 200 m de profundidad.

Zooplankton

En la Figura 9 se puede observar la distribución y abundancia de las medusas a las cuatro diferentes profundidades muestreadas en las estaciones 30, 31, 32, 35, 36 y 37 mostradas en la Figura 2b. Se puede observar que la mayor abundancia de estos organismos se presenta a 10 y 30 m de profundidad. A 10 m de profundidad, se observó que la mayor abundancia se presentó en la estación #30 la cual está ubicada cerca del umbral batimétrico. A 30 m de profundidad, se observó que la mayor abundancia ($50 \text{ ind}/100 \text{ m}^3$) se encuentra en la estación que corresponde con el centro del vórtice ciclónico, mientras que en las demás profundidades (50 y 100 m) se observó una disminución hacia el centro del núcleo de mayor densidad ubicado en Cuenca Alfonso. La menor abundancia de estos organismos se observó 100 m de profundidad.

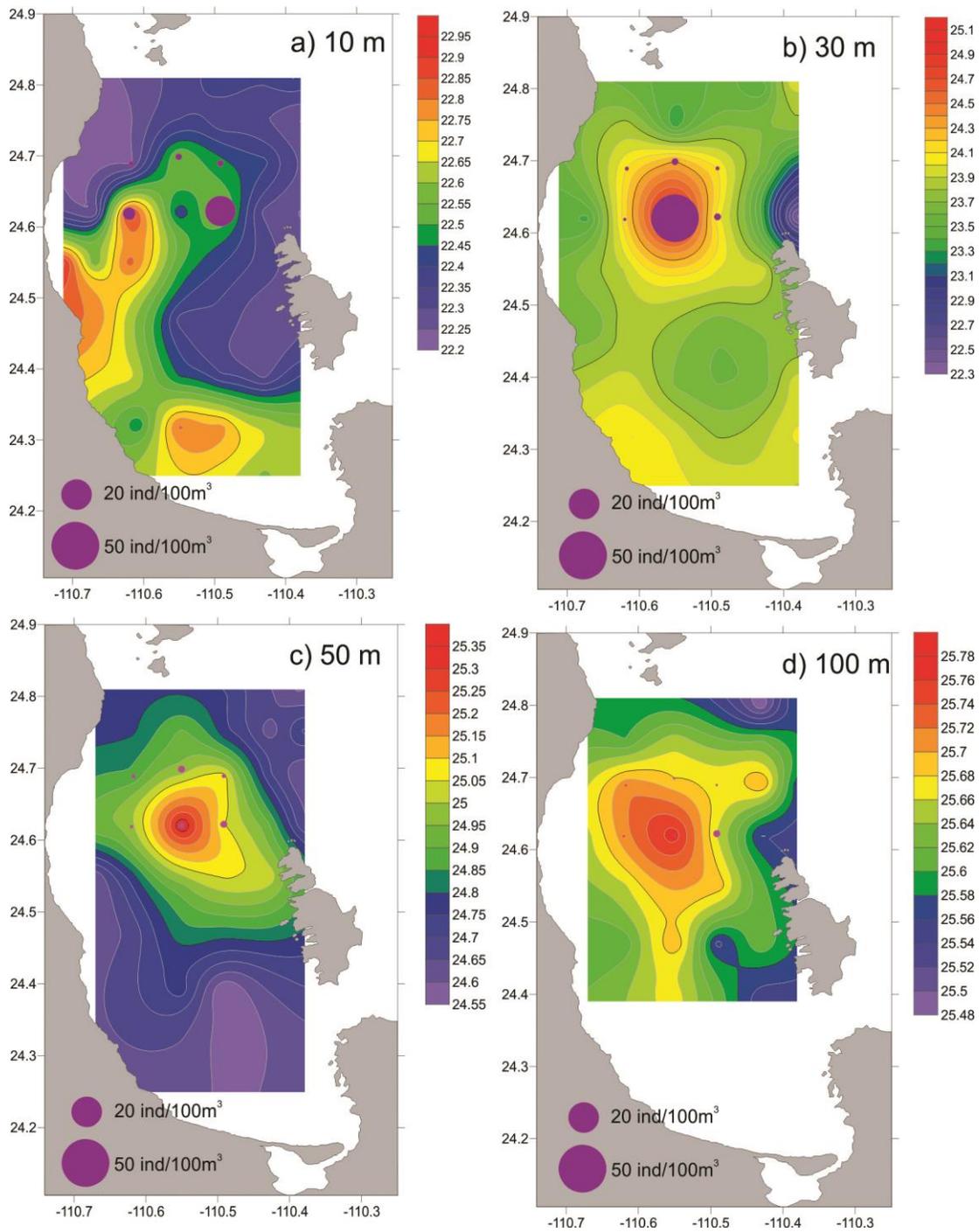


Figura 9. Distribución y abundancia de medusas (ind 100 m⁻³) y densidad (kg m⁻³) en: a) 10 m, b) 30 m, c) 50 m y d) 100 m de profundidad.

Al analizar la distribución y abundancia de los quetognatos (Figura 10) se pudo observar que fue el grupo de los organismos gelatinosos carnívoros más abundante en las estaciones y profundidades muestreadas, alcanzando 1,250 ind/100 m³. En general, su mayor abundancia se presentó en las estaciones de la periferia del vórtice ciclónico, y en las estaciones asociadas al umbral batimétrico de la bahía, mientras que su menor abundancia se observó en el núcleo más denso. Verticalmente, se observó que las mayores abundancias se presentaron en los primeros metros de la columna de agua, entre 10 y 50 m de profundidad. Al igual que las medusas, se observó una disminución en los valores de abundancia de este grupo conforme aumentó la profundidad, con la menor abundancia que se observó a 100 m de profundidad.

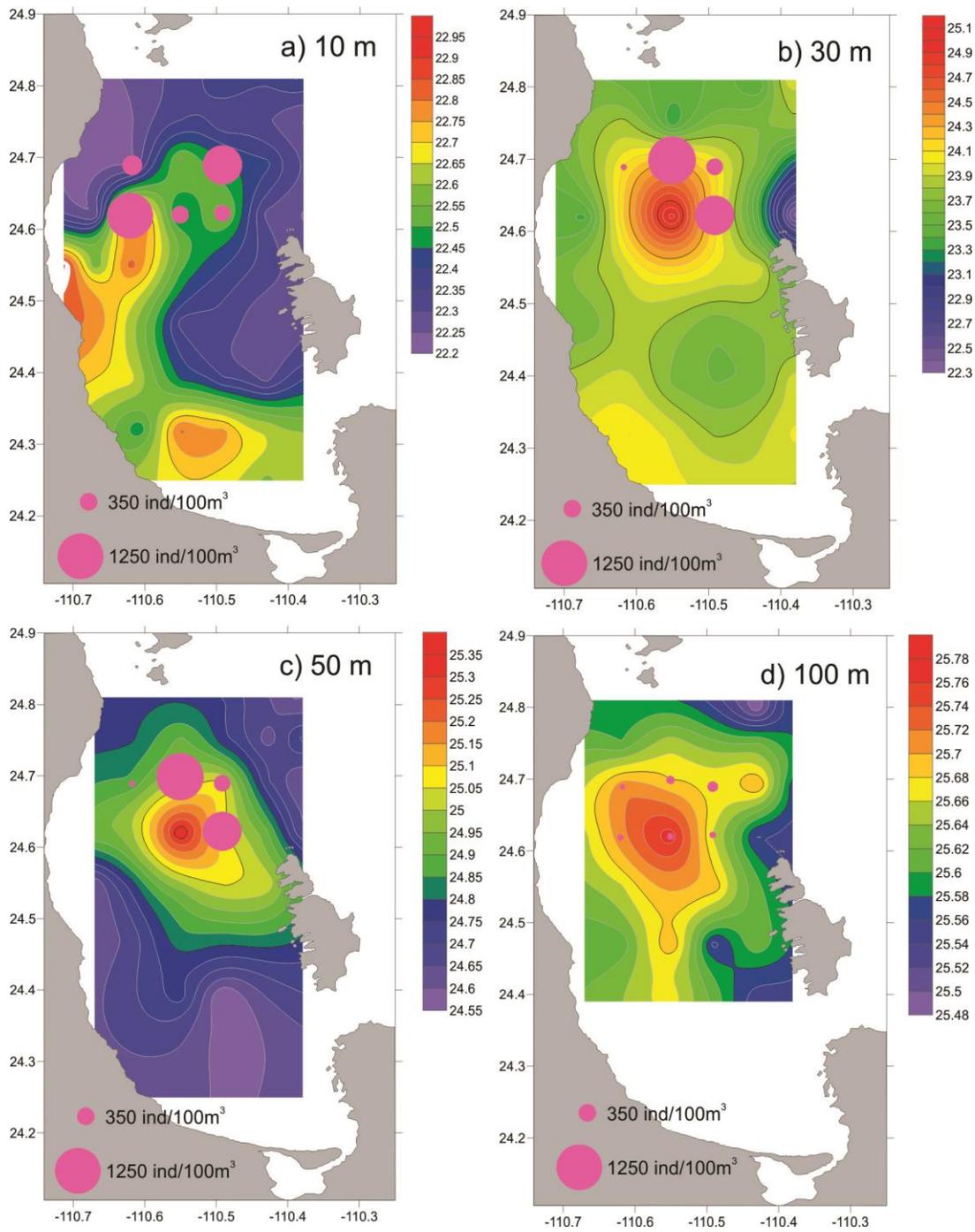


Figura 10. Distribución y abundancia de quetoganots (ind 100 m⁻³) y densidad (kg m⁻³) en: a) 10 m, b) 30 m, c) 50 m y d) 100 m de profundidad.

DISCUSIÓN

Los grupos del zooplancton gelatinoso (medusas y quetognatos) objeto de estudio de este trabajo, en general, presentaron una mayor abundancia en la periferia del núcleo de mayor densidad, este núcleo se puede considerar como un vórtice ciclónico el cual promueve la producción biológica en la columna de agua y la distribución diferencial de los organismos del zooplancton por sus hábitos alimentarios (Durán-Campos *et al.*, 2015). Este núcleo de mayor densidad induce a un ascenso de masas de agua frías ricas en nutrientes, las cuales fertilizan la zona. El umbral batimétrico induce una zona de alta producción de organismos del plancton; las cadenas tróficas en el océano presentan una relación no lineal con estos procesos, no solo en la distribución sino también con el movimiento de los diferentes organismos del plancton en general (Martin & Richards, 2000; Garçon *et al.*, 2001).

Se ha reportado la presencia de un vórtice ciclónico al interior de la Bahía de la Paz, cuyo origen se ha atribuido al efecto combinado entre el patrón de viento y la batimetría de la región, que en su conjunto tienen fuertes repercusiones en los organismos del plancton de la región (Coria-Monter *et al.*, 2014). Este proceso promueve una fertilización de la capa superficial por lo que la biomasa del fitoplancton aumenta (Coria-Monter *et al.*, 2017), lo que afecta la distribución del zooplancton, en particular de aquellos organismos que se alimentan del fitoplancton y al encontrarse mayormente en la superficie también aumenta su abundancia (Johnson *et al.*, 2012).

La mayor abundancia de organismos observada en este trabajo se localizó en la periferia del núcleo frío y denso indicativo de un vórtice ciclónico de mesoescala, lo cual coincide con los resultados de un estudio en el que el zooplancton carnívoro se encontró en esta misma zona, debido a que pueden tener mejor capacidad de movimiento y estar cerca de organismos herbívoros; esta distribución puede estar dada por corrientes con diferentes velocidades creando microambientes en la periferia del remolino ciclónico (Durán-Campos *et al.*, 2015). Los organismos gelatinosos generalmente no se distribuyen en aguas frías ya que no es un ambiente propicio para ellos, por lo que se suelen encontrarse asociados con aguas cálidas (Lucas & Reed, 2010), lo que explica lo encontrado en este estudio. Estudios sobre la distribución de medusas y quetognatos en el Mar amarillo (China) encontraron una mayor abundancia de medusas y quetognatos en zonas con aguas más cálidas ya que es su ambiente propicio y suelen tener mejor disponibilidad de alimento (Shi *et al.*, 2015). Esto coincide con

la distribución encontrada en los resultados de este trabajo ya que, como se observa en las Figuras 9 y 10, se encontró mayor abundancia de estos organismos en la periferia del núcleo observado, en donde se encontraron temperaturas más cálidas en comparación con el centro. La temperatura es un regulador muy importante en los sistemas biológicos ya que ayuda a determinar los gases disueltos en el agua, incluidos en dióxido de carbono y el oxígeno disuelto. Además, debido a que la temperatura regula la densidad del agua se llegan a formar capas de distintas temperaturas y densidades las cuales funcionan como barreras para algunos organismos (Lalli & Parsons, 1997). Esta estratificación de la columna de agua puede provocar diferencias en la concentración de oxígeno disuelto y, por lo tanto, en los nutrientes, lo que influye en la cantidad de fitoplancton disponible y, por ende, en la distribución del zooplancton. En ocasiones, estos cambios pueden producir efectos en cascada que pueden alterar toda la cadena alimenticia (Johnson *et al.*, 2012).

Los estudios de los grupos de zooplancton y su relación con los vórtices de mesoescala en ecosistemas costeros del sur del Golfo de California, como la Bahía de La Paz, cobraron relevancia en la última década. En la Bahía de La Paz, Duran-Campos *et al.* (2015) evaluaron la influencia de un vórtice ciclónico de mesoescala en la abundancia y distribución de grupos funcionales de zooplancton, mostrando evidencia de que la presencia del vórtice retiene una composición biológica particular, con una agregación diferencial del zooplancton desde el centro hasta la periferia del vórtice. Durán-Campos *et al.* (2019) evaluaron la dinámica de los grupos funcionales de zooplancton bajo la presencia de un sistema de vórtice dipolo (ciclón-anticiclón), mostrando una clara dependencia entre la dinámica física con los grupos del zooplancton, y confirmaron que los vórtices al interior de la Bahía de La Paz representan hábitats importantes para los organismos de zooplancton. Más recientemente, Rocha-Díaz *et al.* (2021) documentaron que la composición y distribución del zooplancton al interior de la bahía se encuentra estrechamente relacionados con la presencia del vórtice ciclónico, que induce a que los organismos, en particular los copépodos, se distribuyan en forma de anillo/cinturón siguiendo la periferia del vórtice.

La Bahía de La Paz es una región caracterizada por soportar una elevada biodiversidad, incluyendo especies endémicas y en peligro de extinción, y aunque recientemente se han realizado importantes esfuerzos para comprender los mecanismos involucrados en esta alta biodiversidad, particularmente en lo que respecta al ecosistema planctónico, aún existen

incertidumbres relacionadas con los impactos de los remolinos de mesoescala en la estructura vertical de las comunidades de zooplancton. Esta falta de información sobre la afinidad de algunos grupos para permanecer en profundidades específicas de la columna de agua, se debe principalmente a la estrategia de muestreo aplicada hasta el momento. Por ejemplo, la gran mayoría de la información con la que se cuenta hasta ahora, y explica la influencia del forzamiento físico en la distribución de los organismos del zooplancton de la región, proviene de muestreos realizados con redes Bongo, lo que aún no ha permitido identificar el impacto de los vórtices de mesoescala en la distribución vertical de las comunidades de zooplancton y determinar si existen afinidades de algunos grupos de organismos a estar ubicados en una posición particular a lo largo de la columna de agua (es decir, la superficie, la profundidad de la termoclina, etc.). En este sentido, los resultados presentados en este proyecto contribuyen al conocimiento de la estructura vertical, de al menos dos grupos del zooplancton, documentando que existe una afinidad de las medusas y quetognatos para permanecer en profundidades alrededor de la termoclina.

Estudios realizados recientemente en otras regiones del mundo confirman que la presencia de vórtices de mesoescala y el efecto que tienen en la distribución vertical de la temperatura determina la distribución de los organismos del zooplancton. Por ejemplo, en aguas costeras de la Bahía de Bengala (Océano Índico) la presencia de vórtices de mesoescala, particularmente ciclónicos, reguló la estructura vertical de la comunidad de mesozooplancton entre la superficie y los 100 m de profundidad, debido a la perturbación de la termoclina que induce altas concentraciones de clorofila-*a* en la capa superficial, la cual está disponible para los organismos herbívoros, particularmente los copépodos (Jagadeesan *et al.*, 2019).

En la región de Bermudas (Atlántico Norte) se documentó que existen cambios en la abundancia de los organismos del zooplancton en relación con la profundidad de la termoclina; como se mencionó anteriormente, la termoclina representa una barrera que retiene a ciertos organismos y por lo tanto suelen ser más abundantes en esta profundidad (Stefanoudis *et al.*, 2019).

Las investigaciones sobre la composición de las especies de zooplancton marino, su abundancia y su distribución vertical resultan fundamentales para evaluar la productividad potencial en cualquier ecosistema marino, y hoy en día existe un gran interés en determinar, desde un punto de vista multidisciplinario, el papel de la hidrografía y presencia de procesos

hidrodinámicos. Este tipo de estudios son particularmente relevantes en ambientes caracterizados por su alta diversidad biológica, como la Bahía de La Paz.

CONCLUSIONES

- El análisis de la distribución horizontal de los parámetros hidrográficos a diferentes profundidades mostró la presencia de un núcleo frío y denso al centro la Bahía de La Paz, en Cuenca Alfonso, lo cual es indicativo de la presencia de un vórtice ciclónico de mesoescala.
- La presencia de dicho vórtice ciclónico induce gradientes intensos en la columna de agua, desde la superficie y hasta los primeros 100 m de profundidad.
- El efecto del vórtice ciclónico en la distribución y abundancia de las medusas y quetognatos de la Bahía de La Paz, fue tal que propició una mayor abundancia de ambos grupos de organismos hacia la periferia del vórtice, posiblemente como resultado de la afinidad de ambos grupos para permanecer en aguas más cálidas.
- Se encontraron elevadas abundancias de ambos grupos en las estaciones cercanas con la conexión con el Golfo de California, donde se localiza un umbral batimétrico. La presencia de este umbral puede generar saltos hidráulicos lo que puede ser un mecanismo de importante de enriquecimiento de la región.

REFERENCIAS

- Aranda Rodriguez, A.N. (2008). Composición, abundancia y distribución de las medusas (Cnidaria) en la Bahía de Banderas, Nayarit, Jalisco, México (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de: <http://132.248.9.195/ptd2008/junio/0629184/Index.html>.
- Álvarez-Cadena, J.N., Almaral-Mendivil, A.R., Ordóñez-López, U., & Uicab-Sabido, A. (2008). Composición, abundancia y distribución de las especies de quetognatos del litoral norte del Caribe de México. *Hidrobiológica*, 18:37-48.
- Bibby, T. S., M. Y. Gorbunov, K. W. Wyman, & Falkowski, P. G. (2008). Photosynthetic community responses to upwelling in mesoscale eddies in the subtropical North Atlantic and Pacific Oceans, *Deep Sea Res., Part II*, 55(10–13): 1310-1320.
- Boltovskoy, D. (1999). South Atlantic Zooplankton. Publicaciones especiales del INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- Brierley, A.S. (2017). Plankton. *Current Biology*, 27: R478-R483. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.02.045>
- Castro, P., & Huber, M. (2007). *Biología marina* (6.a ed.). McGraw Hill.
- Chelton, D. B., P. Gaube, M. G. Schlax, J. J. Early, & Samelson, R. M. (2011). The influence of nonlinear mesoscale eddies on near-surface oceanic chlorophyll, *Science*, 334: 328–332.
- Coria-Monter, E., Monreal-Gómez, M.A., Salas de León, D.A., Aldeco-Ramírez, J., & Merino-Ibarra, M. (2014). Differential distribution of diatoms and dinoflagellates in a cyclonic Eddy confined in the Bay of La Paz, Gulf of California. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 119: 6258-6268.
- Coria-Monter, E., Monreal-Gómez, M., Salas de Leon, D., Durán-Campos, E. & Merino-Ibarra, M. (2017). Wind driven nutrient and subsurface chlorophyll-*a* enhancement

- in the Bay of La Paz, Gulf of California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 196: 10.1016/j.ecss.2017.07.010.
- Durán-Campos, E., Salas de León, D.A., Monreal-Gómez, M.A., Aldeco-Ramírez, J., & Coria-Monter, E. (2015). Differential zooplankton aggregation due to relative vorticity in a semi-enclosed bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 164: 10-18.
- Durán-Campos, E., Monreal-Gómez, M.A., Salas de León, D.A., & Coria-Monter, E. (2019). Zooplankton functional groups in a dipole eddy in a coastal region of the southern Gulf of California. *Regional Studies in Marine Science*, 28: 100588.
- Gamero, E. (2014). Aspectos ecológicos y variación morfológica de las medusas invertidas (*Cassiopea* Perón & Lesueur, 1810) en distintos ambientes costeros del caribe mexicano. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, México.
- Garçon, V.C., Oschlies, A., Doney, S. C., McGillicuddy Jr, D. & Waniek, J. (2001). The role of mesoscale variability on plankton dynamics in the North Atlantic. *Deep Sea Research II*, 48: 2199-2126.
- Gasca, R., & Loman-Ramos, L. (2014). Biodiversidad de Medusozoa (Cubozoa, Scyphozoa e Hydrozoa) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:154-163.
- Ghirardelli, E. (1997). Chaetognaths. En L. Guglielrno & A. Ianora (Eds.), *Atlas of Marine Zooplankton. Straits of Magellan Amphipods, Euphausiids, Mysids, Ostracods, and Chaetognaths* (2.a ed., pp. 241-271). Springer.
- Giles, G. (20013). Abundancia, composición, distribución y algunos aspectos ecológicos de las medusas (Cnidaria: Hydrozoa, Scyphozoa y Cubozoa) frente a las costas del caribe mexicano. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, México.
- Gravilli, C. (2016). Zoogeography of Hydrozoa: Past, Present and a Look to the Future. En S. Goffredo & Z. Dubinsky (Eds.), *The Cnidaria, Past, Present and Future* (1.^a ed., pp. 95-108). Springer.
- Haro-Garay, M.J. (1983). Contribución al estudio de la variación espacial de la diversidad de los quetognatos durante el invierno de 1981 en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, La Paz, B. C. S., México.

- Jagadeesan, L., Sampath Kumar, D.N. Rao, N. Surendra babu, & Srinivas, T.N.R. (2019). Role of eddies in structuring the mesozooplankton composition in coastal waters of the western Bay of Bengal. *Ecological Indicators*, 105: 137-155.
- Johnson, W. S., Allen, D. M., & Fylling, M. (2012). *Zooplankton of the Atlantic and Gulf Coasts: A Guide to Their Identification and Ecology* (2nd ed.). Johns Hopkins University Press.
- Karp-Boss, L., Boss, E., Weller, H., Loftin, J., & Albright, J. (2005). *Enseñanza Práctica de Conceptos de Oceanografía Física* (1.^a ed.). CSIC. https://tos.org/oceanography/assets/images/content/teaching_phys_concepts-ESP.pdf
- Lalli, C., & Parsons, T. R. (1997). *Biological Oceanography: An Introduction* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Lucas, C.H. & Reed, A.J. (2010). Gonad morphology and gametogenesis in the deep-sea jellyfish *Atolla wyvillei* and *A. periphylla* (Scyphozoa: Coronatae) collected from Cape Hatteras and the Gulf of Maine. *Journal of the Marine Biological Association of the U.K.*, 90(6): 1095e1104.
- Martin, A. & Richards, K. (2000). Mechanisms for vertical nutrient transport within a North Atlantic mesoscale eddy. *Deep Sea Research II*, 48: 757-773.
- McGillicuddy Jr., D.J., Anderson, L., Bates, N., Bibby, T., Buesseler, K., Carlson, C., Davis, C., Ewart, C., Falkowski, P., Goldtwaith, S., Hansell, D., Jenkins, W., Johnson, R., Kosnyrev, V., Ledwell, J., Li, Q., Siegel, D. & Steinberg, D. (2007). Eddy/wind interactions stimulate extraordinary mid-ocean plankton blooms. *Science*, 316: 1021-1026.
- McGillicuddy Jr., D.J. (2016). Mechanisms of physical-biological-biogeochemical interactions at the Oceanic mesoscale. *Annual Review of Marine Science*, 8: 125-159.
- Mille-Pagaza, S., & Carrillo-Laguna, J. (1999). Los quetognatos (Chaetognatha) del banco de Campeche en abril-mayo de 1986. *Revista de Biología Tropical*, 47:101-108.

- Mille-Pagaza, S., & Carrillo-Laguna, J. (2003). Distribución y abundancia de los quetognatos de la plataforma Tamaulipeca y océano adyacente en abril de 1987. *Hidrobiológica*, 13: 223-229.
- Mojica-Ramírez, E (2008). Estructura del zooplankton de la Bahía de la Paz, B.C.S.. y su relación con la hidrografía durante el verano del 2004 (Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, México. Recuperado de: <http://132.248.9.195/ptd2008/agosto/0630166/Index.html>
- Monreal-Gómez, M.A., Molina-Cruz, A., & Salas de León, D.A. (2001). Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *Journal of Marine Systems*, 30 (3): 305-315.
- Pechenik, J. A. (2014). *Biology of the Invertebrates*. McGraw-Hill Education.
- Ramos-de-la-Cruz, R., Pajares, S., Merino-Ibarra, M., Monreal-Gómez, M., & Coria-Monter, E. 2021. Distribution of nitrogen-cycling genes in an oxygen-depleted cyclonic eddy in the Alfonso Basin, Gulf of California. *Marine and Freshwater Research*, 72: 10.1071/MF20074.
- Ringelberg, J. (2010). *Diel Vertical Migration of Zooplankton in Lakes and Oceans*. Springer Publishing.
- Ruíz-Boijseauneau, I. (2008). Estructura de la comunidad de quetognatos en el Golfo de California, México (Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, México. Recuperado de: <http://132.248.9.195/ptd2008/noviembre/0636906/Index.html>
- Rocha-Díaz, F., Monreal-Gómez, M., Coria-Monter, E., Salas de Leon, D., Durán-Campos, E. & Merino-Ibarra, M. (2021). Copepod abundance distribution in relation to a cyclonic eddy in a coastal environment in the southern Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 222: 104436. 10.1016/j.csr.2021.104436.
- Sánchez-Mejía, J., Monreal-Gómez, M., Durán-Campos, E., Salas de Leon, D., Coria-Monter, E., Contreras-Simuta, M. & Merino-Ibarra, M. (2020). Impact of a Mesoscale Cyclonic Eddy on the Phytoplankton Biomass of Bay of La Paz in the Southern Gulf of California. *Pacific Science*, 74: 10.2984/74.4.2.

- Sánchez-Velasco, L., Beier, E., Ávalos-García, C. & Lavín, M. F. (2006). Larval fish assemblages and geostrophic circulation in Bahía de La Paz and the surrounding region of the Gulf of California. *Journal of Plankton Research*, 28(11): 1081-1098.
- Shi, Y., Sun, S., Zhang, G. et al. (2015). Distribution pattern of zooplankton functional groups in the Yellow Sea in June: a possible cause for geographical separation of giant jellyfish species. *Hydrobiologia*, 754: 43-58.
- Stefanoudis, P.V., M. Rivers, H. Ford, I.M. Yashayaev, A.D. Rogers, & Woodall, L.C. (2019). Changes in zooplankton communities from epipelagic to lower mesopelagic waters. *Marine Environmental Research*, 146:1-11.
- Stramma, L., H. W. Bange, R. Czeschel, A. Lorenzo, & Frank, M. (2013). On the role of mesoscale eddies for the biological productivity and biogeochemistry in the eastern tropical Pacific Ocean off Peru, *Biogeosciences*, 10: 9179-9211.
- Trégouboff G. & Rose, M. (1957). *Manuel de Planctonologie Méditerranéenne*. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- Zedillo-Avelleyra, S.A. (2015). *Composición, abundancia y distribución de la comunidad de medusas (Cnidaria) en la Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México en marzo de 2005 (Licenciatura)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de: <http://132.248.9.195/ptd2015/octubre/0737036/Index.html>