

Universidad Autónoma de Baja California



Facultad de Ciencias Marinas



Condiciones superficiales del hábitat del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) durante su temporada de agregación en Bahía de los Ángeles en 2017

TESIS

para obtener el título de

Oceanólogo

Presenta

Edgar Fernando Cortés Espinoza

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MEXICO. OCTUBRE DE 2019

Resumen: El presente trabajo tiene como objetivo generar información sobre la oceanografía de Bahía de Los Ángeles, México (BLA) con la finalidad de incrementar nuestro conocimiento y brindar herramientas a tomadores de decisiones con fin de que se lleve a cabo un mejor manejo en la conservación de tiburón ballena (*Rhincodon typus*). BLA es uno de los pocos sitios en el mundo donde se presentan dos condiciones con respecto a esta especie: (1) forman numerosas agregaciones, así como también, (2) estas duran un largo periodo de tiempo. Su presencia se atribuye a la alta biomasa fitoplanctónica que se produce en BLA, la cual ha sido relacionada como una respuesta a la dinámica oceanográfica. Esta dinámica oceanográfica es controlada por varios factores, como el constante intercambio con el agua del Canal de Ballenas, la batimetría de la bahía y los patrones de vientos los cuales favorecen la mezcla de la columna de agua dentro de la bahía. En este trabajo se observó una variación temporal de la presencia de variables químicas como la utilización aparente de oxígeno (UAO) y el carbono inorgánico disuelto (CID) entre los meses de junio a diciembre. Durante la temporada cálida en el mes de junio, la utilización aparente de oxígeno (UAO) presentó valores negativos, constantemente entre cero y $-120 \mu\text{mol kg}^{-1}$, y un mínimo en la concentración de CID ($2078 \pm 16 \mu\text{mol kg}^{-1}$). Mientras que, para la temporada fría durante el mes de diciembre, la UAO mostró valores cercanos a $-20 \mu\text{mol kg}^{-1}$, junto con valores de CID mayores que en verano, pudiendo alcanzar hasta un máximo de $2212 \pm 2 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Además, con respecto a las condiciones de estos gases disueltos, en este trabajo se logró identificar un patrón espacial entre las secciones norte y sur de la bahía, atribuido a la entrada de Agua Subsuperficial Subtropical rica en CID y bajo contenido de oxígeno disuelto (OD) desde el Canal de Ballenas hacia la sección norte. Lo anterior fue atribuido a un mecanismo regulado por pulsos de mareas, así como al tiempo de residencia de las aguas en la sección sur de la bahía, el cual favorece el consumo del CID por parte de la biomasa fitoplanctónica promoviendo así una sobresaturación de oxígeno durante la temporada de agregación del tiburón ballena, alcanzando valores máximos en la temporada cálida de hasta $150 \pm 5 \%$, y disminuyendo a un mínimo de $114 \pm 2 \%$ en la sección sur. Además, la sobresaturación de oxígeno y los valores positivos de $p\text{CO}_2$, nos hablan que BLA pudiera estar actuando como una potencial fuente de estos gases hacia la atmósfera durante todo el año, pero con una mayor dominancia en oxígeno durante la temporada cálida, mientras que, en la temporada fría una mayor dominancia en CO_2 . Lo anterior sugiere que la especie de tiburón ballena (*Rhincodon typus*) responde a agregarse y abandonar la bahía como respuesta a estas condiciones.

**Condiciones superficiales del hábitat del tiburón
ballena (*Rhincodon typus*) durante su temporada de
agregación en Bahía de Los Ángeles en 2017**

Tesis de licenciatura en Oceanología

Presenta

Edgar Fernando Cortés Espinoza



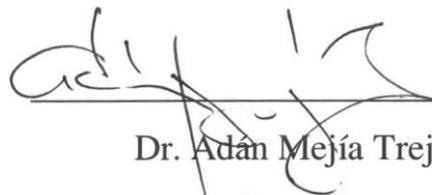
Dr. José Martín Hernández Ayón

Director de Tesis



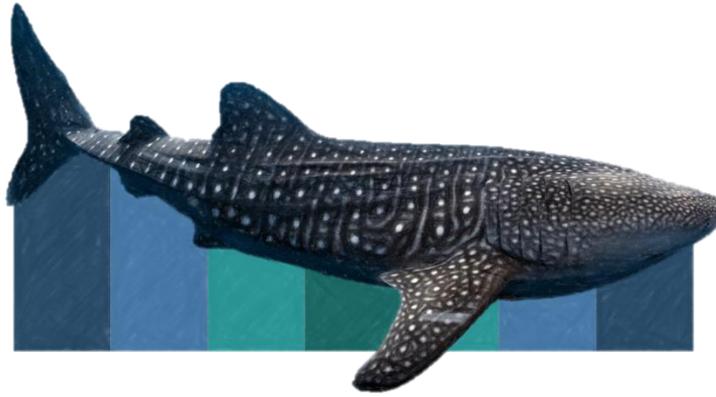
Dr. Carlos Orión Norzagaray López

Sinodal



Dr. Adán Mejía Trejo

Sinodal



AGRADECIMIENTOS

SECTOR GUBERNAMENTAL

A la CONANP de Bahía de Los Ángeles (BLA) por el apoyo a participar en los recorridos para la toma de muestras

SECTOR SOCIAL

A PRONATURA Noroeste, Ensenada por el apoyo económico que hizo posible mi estancia en Bahía de Los Ángeles y poder llevar a cabo esta serie de tiempo sin interrupciones.

Al Grupo Comunitario PEJESAPO por la oportunidad de participar en los avistamientos y foto identificación de tiburón ballena para fortalecer la información de este trabajo. Específicamente a Abraham Vázquez por compartir su conocimiento sobre la especie.

SECTOR ACADEMICO

A la UABC y la Facultad de Ciencias Marinas por el apoyo y préstamo de material necesario. Además de su contribución a ayudarme a formarme como profesionalista a lo largo de la carrera. Específicamente al Dr. Héctor Bustos por compartir su conocimiento para el trabajo en campo.

Al CO₂ TEAM del IIO por su apoyo en las mediciones en laboratorio y a todo el equipo por su colaboración y consejos para el mejoramiento del este trabajo, Específicamente al Dr. Martin Hernández por compartir su conocimiento sobre química oceanográfica.

A COLABORADORES que contribuyeron en el procesamiento de datos y manejo de la información.

1. Introducción

El conocimiento hidrológico sobre las propiedades físico-químicas y patrones de circulación deben ser aplicado a soluciones de problemas biológicos, ecológicos y de desarrollos designados a la acuicultura, conservación y/o ecoturísticos y para una optimización de resultados en el establecimiento y desarrollo de áreas designadas para la protección de hábitats o especies. Para la conservación en el ambiente marino, es necesario contar con estudios ecológicos básicos que incluyan la hidrología del área elegida, así como los rangos de variación de los parámetros físico-químicos más importantes, esto con el fin de poder describir las zonas en donde mejor pueden desarrollarse las especies, basándose en las limitaciones del ambiente en el que se encuentran (Cárdenas-Palomo *et al.*, 2009)

Entre los factores hidrológicos más relevantes que regulan el sistema de un medio ambiente marino están la temperatura, la salinidad y la saturación de oxígeno disuelto, así como el pH y el sistema del dióxido de carbono. El primero es determinante en el metabolismo, distribución espacial y en los ciclos reproductivos o migratorios de los organismos (Morales-Zúñiga, 1977; Clarke, 2004). La importancia de la salinidad es que puede ser un forzante/control de los procesos de osmoregulativos de dichos organismos (Álvarez-Borrego y Ballesteros-Grijalva, 1975). El océano juega un papel importante en la absorción del dióxido de carbono atmosférico y consta de cuatro variables medibles: (1) alcalinidad total (AT), (2) el carbono inorgánico disuelto (CID), (3) la presión parcial del CO₂ ($p\text{CO}_2$), y (4) el pH. Finalmente, el oxígeno disuelto, junto con el dióxido de carbono, indican el balance de respiración y producción primaria en el océano (Odum, 1972). De esta manera, la identificación de los mecanismos que controlan la variabilidad del océano en diferentes ambientes marinos es importante para comprender la biogeoquímica marina y como los océanos están respondiendo al aumento de CO₂ en la atmósfera, particularmente frente al fenómeno de la acidificación oceánica (Williamson *et al.*, 2017).

Baja California, por su posición geográfica y mares adyacentes, ocupa uno de los lugares más importantes dentro de las actividades acuáticas (*p. ej.* pesquerías, conservación, áreas recreativas) ya que existe una gran diversidad de especies de valor comercial que permiten la creación de polos de desarrollo sustentable para diferentes sectores a lo largo de la península (Danemann, 2008).

1.1. Condiciones oceanográficas

El Golfo de California (GC), es un mar marginal localizado al noroeste mexicano, entre la península de Baja California y el continente. Mantiene un sistema complejo altamente productivo y por ende mantiene un considerable interés oceanográfico y meteorológico (Roden, 1958; Badan-Dangon, *et al.* 1991). Sin embargo, con más de 1000km de longitud, varios de los procesos y condiciones oceanográficas únicas del golfo ocurren en la sección que separa el Alto Golfo de California (AGC) del resto del Mar de Cortés llamada la Región de las Grandes Islas (RGI; Fig. 1b), esto debido principalmente a los umbrales al fondo de las cuencas y estrechos canales entre las islas.

En la RGI, por restricciones batimétricas, solo se encuentran presente el Agua del Golfo de California (AGC, $S \geq 35.0$ y $T > 12^{\circ}\text{C}$) en los primeros 100m de profundidad y por debajo, el Agua Subsuperficial Subtropical (ASsSt, $34.5 < S < 35$ y $9.0 < T < 18^{\circ}\text{C}$; Torres-Orozco. 1993) la cual llena las cuencas Delfín, Salsipuedes y Tiburón. Estas masas de agua presentan una clara dinámica estacional a lo largo del año (Hernández-Ayón *et al.*, 2013; Fig. 1b). Así también, Hidalgo-González y Álvarez-Borrego (2001) dividieron el año en dos estaciones para esta región: la estación fría, la cual comprende de fines de noviembre a fines de junio y el resto del año es considerado la estación cálida. Sin embargo, junio y noviembre son considerados como meses de transición y, debido a la variabilidad interanual, en algunos años todo el mes de noviembre puede corresponder a la temporada fría.

Los procesos oceanográficos que ocurren en la RGI se atribuyen principalmente a la mezcla producida por fenómenos asociados a mareas que desempeña un papel muy importante en la zona costera, siendo su intensidad dependiente del periodo lunar (Roden, 1958) además de que juega un papel muy importante en la distribución de propiedades disueltas del océano (Hernández-Ayón, *et al.* 2013). La pequeña diferencia de periodo entre los componentes M_2 y S_2 (componentes principales lunar y solar, respectivamente) producen una variación quincenal de las mareas causada por las fases de la luna (el rango de mareas es de $>2.5\text{m}$). Aunado a esto, esta región presenta las temperaturas superficiales más bajas de todo el GC en respuesta a esta intensa mezcla (Argote *et al.*, 1995).

Se han registrado niveles altos de $p\text{CO}_2$ en toda la RGI con valores $> 550 \mu\text{atm}$ en el periodo de transición entre verano e invierno (Zirino *et al.*, 1997; Hidalgo-González *et al.*, 1997). Las

concentraciones de CID reportadas fluctúan entre los 2200 y 2300 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ presentando flujos de CO_2 en equilibrio o con anomalías positivas durante mareas posmuertas y durante mareas posvivas (Hidalgo-González et al., 1997; Zirino *et al.*, 1997; Hernández-Ayón *et al.*, 2007). Estos valores de CID y $p\text{CO}_2$ están asociados a que el ASsSt es más somera durante el invierno, ya que aumenta su volumen y se mezcla con el AGC, la cual cubre los primeros 100 m de la columna de agua, debido al efecto de las mareas, convirtiendo esta región en una potencial fuente de CO_2 hacia la atmósfera, así como de nutrientes a la zona fótica de la columna de agua durante esta temporada, y regulando así la composición química de las aguas superficiales (Torres-Delgado *et al.*, 2013; Hernández-Ayón *et al.*, 2013).

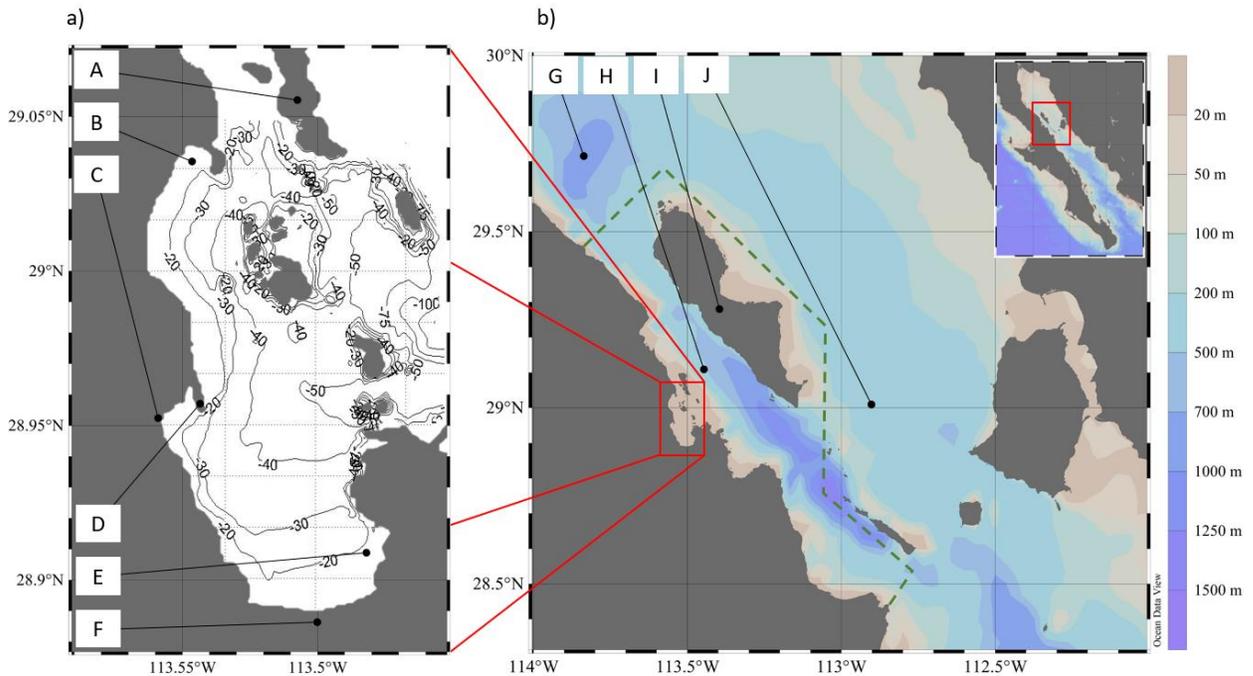


Figura 1. Bahía de Los Ángeles (BLA) (a) dentro del área natural protegida (línea verde discontinua): A) Isla Coronado Smith (ICS), B) la Ensenada La Gringa hacia el norte, C) el poblado de BLA, D) la barra de arena de Punta Arena, E) la ensenada El Rincón y F) el estero la mona al sur. Dentro de la región de las grandes islas (RGI) (b) se encuentra G) Cuenca Delfín (CD), H) Canal de Ballenas (CB), I) la Isla Ángel de la Guarda y J) la Cuenca Tiburón (CT).

El Canal de Ballena (CB; Fig. 1b), ubicado entre la isla Ángel de la Guarda y la costa peninsular de Baja California, ha sido considerado como una provincia oceanográfica (Lavín *et al.*, 1997). En el CB se ha observado una formación de regiones oceanográficas peculiares sobre

la dinámica del carbono producto también de esta intensa mezcla y que ha sido reportada por Hernández-Ayón y colaboradores (2013). En este canal, la mezcla en la columna de agua es muy intensa en respuesta a las fuertes corrientes de mareas (Argote *et al.*, 1995; Paden *et al.*, 1993; Soto-Mardones *et al.*, 1999), debido a la entrada de corrientes profundas del ASsSt que fluyen hacia el interior del canal desde su entrada norte ($< 0.05 \text{ m s}^{-1}$) y su entrada al sur ($\sim 0.3 \text{ m s}^{-1}$) creando una convergencia en el fondo, esto precede a una divergencia en la superficie con un flujo de agua hacia fuera del canal en ambas entradas tanto hacia el norte ($< 6.2 \text{ m s}^{-1}$) como hacia el sur ($< 0.1 \text{ m s}^{-1}$). Estos procesos provocan una situación parecida a una surgencia semipermanente con un transporte neto de aguas profundas de hasta 0.09 Sverdrup (1 Sverdrup = $1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), manteniendo un reaprovisionamiento durante 82 días y a una velocidad vertical de 5.8 m día^{-1} (López *et al.*, 2006). La velocidad de las corrientes de mareas es variable y dependen de la fase lunar y los vientos dominantes, pero al ser observadas con medidores de deriva se han obtenido valores instantáneos excepcionales de 3 m s^{-1} (Álvarez-Borrego *et al.*, 1978; Merrifield *et al.*, 1987). Sin embargo, la presencia del ASsSt en el la superficie del CB varia estacionalmente en la vertical, con una mayor presencia en la temporada de invierno (Hernández-Ayón *et al.*, 2013).

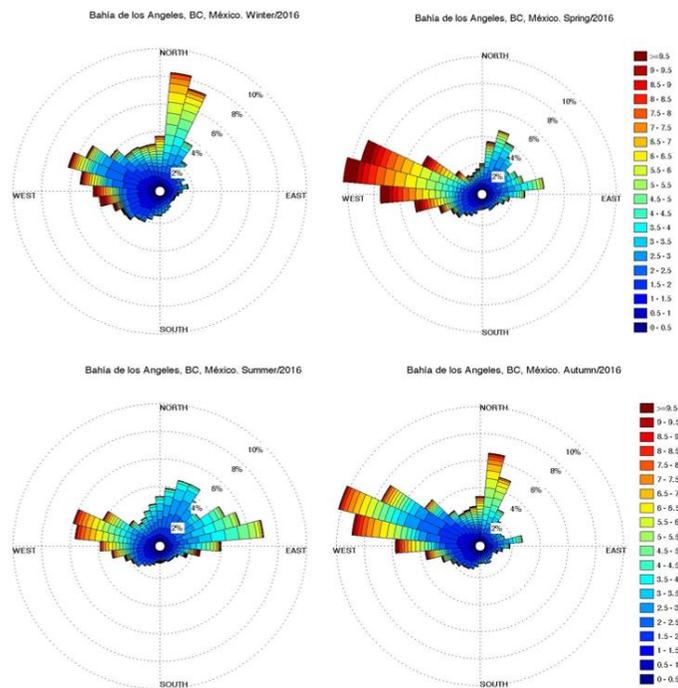


Figura 2. Rosa de vientos para cada una de las cuatro estaciones del año.

La turbulencia creada por las intensas corrientes de marea actúa como una “bomba física” que transporta aguas profundas hacia la superficie, mayormente durante el invierno en comparación al resto de la RGI (Torres-Valdés. 2000). Este mecanismo de bombeo de agua profunda (ASsSt) provoca flujos de CO_2 gas hacia la atmósfera, la presencia de las bajas temperaturas superficiales (Robinson, 1973 y Delgadillo-Hinojosa et al., 2001), mayores concentraciones de CID ($\sim 2130 \mu\text{mol kg}^{-1}$; Hernández-Ayón, *et al.* 2013), valores más bajos de pH (entre 8.1 en superficie hasta 7.98 a 100 m; Gaxiola-Castro. 1978 y Zirino *et al.*, 1997) y concentraciones altas de nutrientes, favoreciendo así el crecimiento fitoplanctónico para la transición primavera-verano. Aunado a esto y en respuesta a los procesos físico-químicos provocados por estas corrientes de mareas, es que el CB mantiene una alta productividad primaria, la cual soporta una gran cantidad de peces, aves y mamíferos marinos (Tershy *et al.*, 1991).

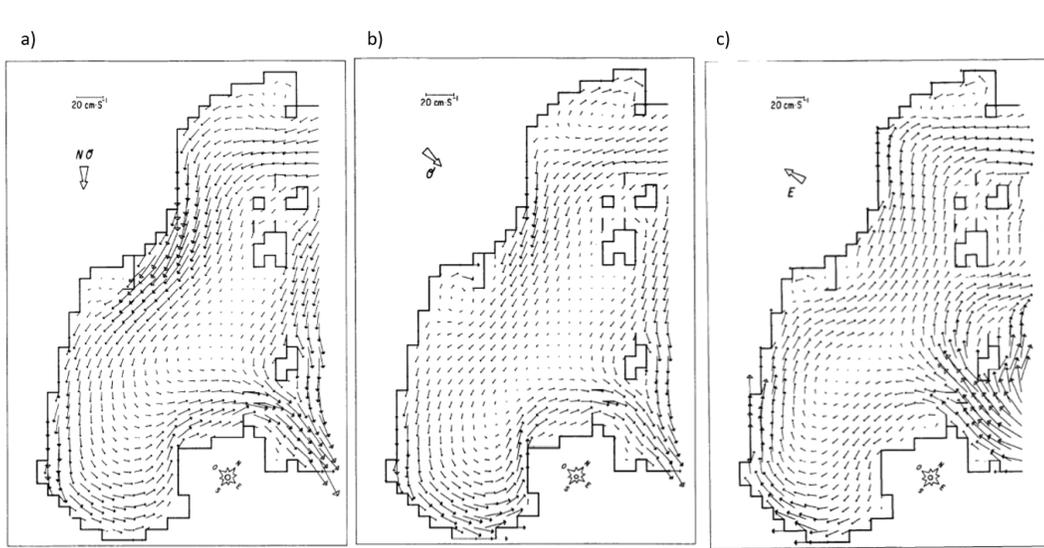


Figura 3. Corrientes residuales inducidas por viento según la predicción del modelo generado por Buenrostro *et al.*, (1991) para condiciones de: a) invierno, b) primavera, c) verano.

Adyacente al CB, entre las coordenadas $29^{\circ} 02' 26''$ N a $28^{\circ} 35' 25''$ N y $113^{\circ} 32' 22''$ W a $113^{\circ} 30' 29''$ W se encuentra Bahía de Los Ángeles (BLA; Fig. 1a), una bahía con una longitud de 17.3km y 6.4km en su parte más ancha. La batimetría de la bahía está definida por profundidades someras y como un máximo 50 m en los canales entre las islas, tanto en el norte como hacia el sur de la bahía (Fig. 1b) y presenta, constantemente, una amplia comunicación con el CB. Razón por la cual una parte de la dinámica hidrológica que ocurre dentro de BLA depende en gran medida de los procesos que ocurren en el CB (Sáenz-Chávez y Danemann, 2008).

El clima de esta región es desértico, con una gran evaporación y escasa precipitación (40-60 mm) durante todo el año, siendo los meses de mayo y junio los más secos, mientras que el mes de septiembre es reportado como el de mayor precipitación (INEGI, 1995). Buenrostro y colaboradores (1991) sugieren que el viento es la fuente más importante para la energía dentro de la bahía, la energía del viento modifica la estructura de la columna de agua produciendo una mezcla vertical, además de producir un fuerte intercambio superficial con el CB.

Las corrientes provocadas por la marea dentro de este cuerpo de agua son mínimas, por lo que se supone que la bahía tiene un alto tiempo de residencia, y de igual manera responden sus parámetros hidrográficos y biológicos, como es el caso que ocurre en la ensenada La Gringa, en la parte central, en la parte sur de la bahía, y en la ensenada frente al poblado, en donde se presentan centros de giro provocados por los vientos dominantes (Fig. 3). Durante el verano el viento viaja predominantemente desde el este y el oeste con velocidades por encima de 10 m s^{-1} , produciendo corrientes costeras que van principalmente desde el sur hacia el norte y con un flujo de $22,200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ entre el interior y el exterior de la bahía. Mientras que en invierno las condiciones del viento cambian, viajando desde el noroeste y generando corrientes costeras que viajan desde el norte hacia el sur con un flujo de $13,800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Durante la primavera y el otoño, las condiciones de los vientos dominantes son predominantemente desde el oeste (Fig. 2), promoviendo un flujo entre el interior y el exterior de la bahía de hasta $16,000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Buenrostro *et al.*, 1991). Aunado a esto, Ayala-Sánchez y Michel-Sánchez (1980) sugieren que, causado por la batimetría somera y la orientación de la bahía con respecto a los vientos dominantes es que se generan estas corrientes de baja magnitud que recorren toda la bahía paralelas a la costa.

El conjunto de trabajos colectivos sobre la variabilidad hidrológica, productividad primaria y nutrientes para la ensenada La Gringa de Ibarra-Sañudo (1988), Castro-Montoya (1988) y Canino-Herrera (1989) para condiciones de verano y de Durand (1989) y López-Valdez (1989) para las condiciones de invierno de 1986, concuerdan que durante las mareas vivas, que es cuando se presenta una mayor turbulencia, la columna de agua tiende a homogeneizarse y por el contrario en mareas muertas, esta estructura se estratifica debido a la exposición de la capa superior, provocando así una diferencia de temperatura, condiciones de oxígeno, productividad primaria y nutrientes hasta una profundidad de 10m. En conjunto con lo anterior es que las mareas vivas y muertas son las responsables de los bajos y altos tiempos de residencia de las

aguas, respectivamente. Además, en mareas vivas, BLA se ve mayormente afectado por procesos difusivos como vientos y corrientes de mareas, que provocan turbulencia, rompiendo así la estratificación y dando lugar a una mezcla de la columna de agua.

Como resultado de estas condiciones de vientos dominantes durante cada temporada a lo largo del año y los procesos oceanográficos dentro de la bahía así como también su interacción con el CB, es que BLA puede definirse como una de las zonas más productivas en todo el Mar de Cortés y, por ende, un área que funciona como refugio, alimentación, descanso y reproducción de especies marinas, manteniendo grandes poblaciones de animales de relevancia mundial, y dando lugar a actividades turísticas regionalmente importantes (Danemann, 2004), además de ser hábitat de especies amenazadas y migratorias, como es el caso de estudio, el tiburón Ballena.

1.2. Tiburón ballena (*Rhincodon typus*)

El tiburón ballena (TB; Fig. 4) es considerado el pez más grande del mundo por llegar a tallas de entre 15 y 18m de longitud total (Rowart y Brooks, 2012). Es una especie omnívora por lo que se alimenta de organismos planctónicos, principalmente de copépodos por el método de alimentación por filtración (Clark y Nelson, 1997; Heyman *et al.*, 2001; Nelson y Eckert, 2007 y Lavaniegos *et al.*, 2012).

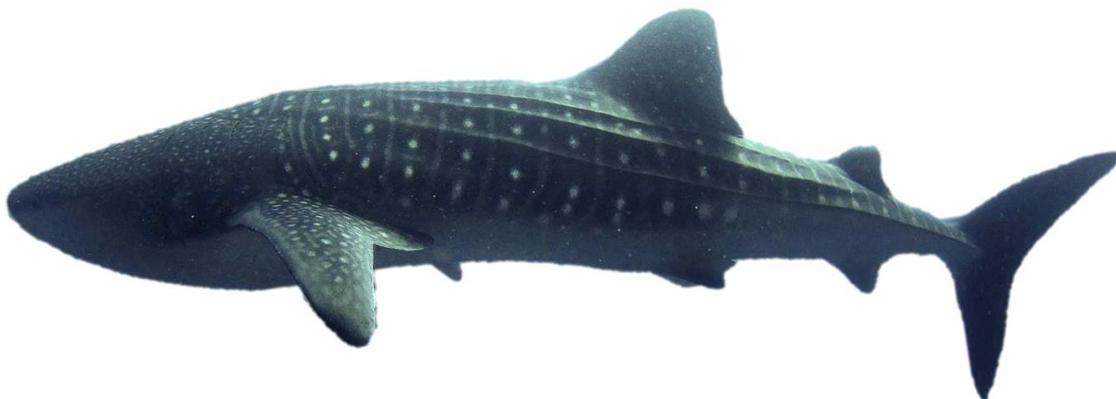


Figura 4. Tiburón ballena (*Rhincodon typus*)

Rhincodon typus mantiene una distribución alrededor de todo el mundo dentro de las limitaciones de aguas tropicales y subtropicales, entre los paralelos 30°N y 35°S (Rowart y Brooks, 2012; Fig. 5) esto, debido a su comportamiento migratorio, el cual han asociado a condiciones climáticas y procesos oceanográficos preferentes para la producción del alimento

principal de la especie (Wilson *et al.* 2001). Además de tener una importancia ecológica por su ubicación tope en la estructura y dinámica de los ecosistemas costeros que frecuenta (Iñiguez-Hernández, 2004).

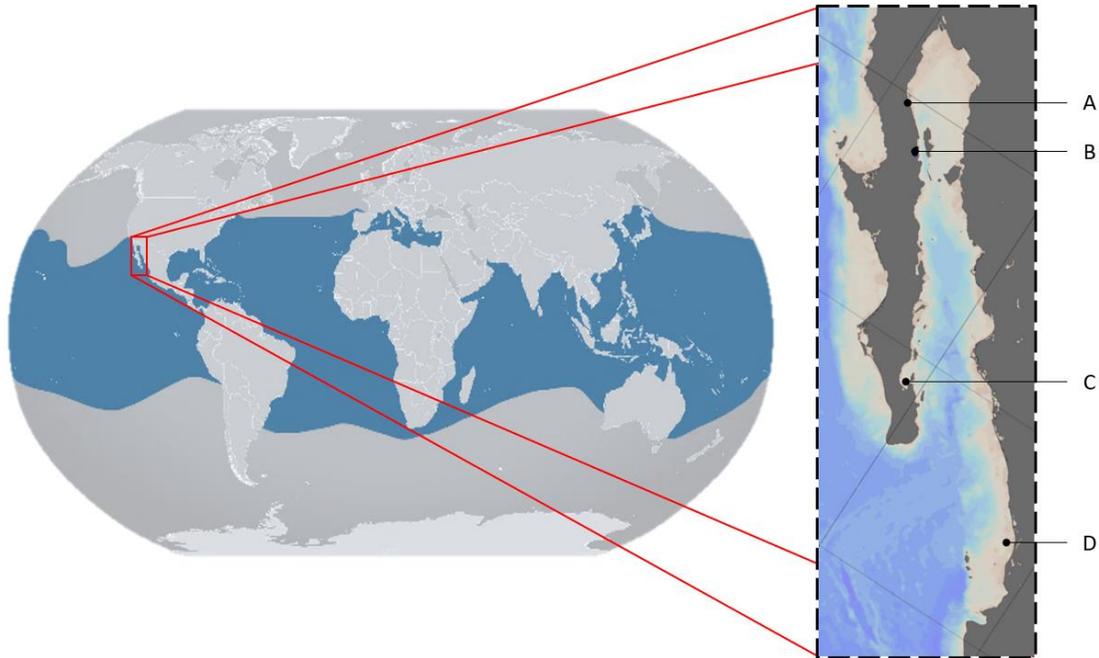


Figura 5. Distribución global y las zonas de agregación de tiburón ballena más relevantes dentro del Golfo de California: A) Bahía San Luis Gonzaga, B) Bahía de Los Ángeles, C) Bahía de La Paz y D) Puerto San Blas, Nayarit.

De las agregaciones más numerosas, que ocurren en los mares mexicanos, se encuentran en el Caribe mexicano, Golfo de México, Pacífico y estudios previos han evidenciado su distribución y rutas migratoria en varias zonas dentro del Mar de Cortés, desde el estado de Nayarit y la Bahía de La Paz, B. C. S. (PROCOCODES, 2012, 2013, 2014) hasta la RGI, entre Bahía San Luis Gonzaga y en este caso en particular, en Bahía de Los Ángeles (Fig. 5).

Mientras que en otros sitios la agregación de TB dura un par de meses, en BLA los organismos permanecen por un tiempo más prolongado y con patrones predecibles, esta agrupación permanece desde el mes de junio hasta principios de diciembre (este evento ocurre durante la temporada cálida) cuando la temperatura del agua superficial (25 – 30 °C), la producción de alimento (~ 85 % de abundancia de *Acartia sp.* del zooplancton) y las condiciones oceanográficas son favorables para la presencia de la especie (Vázquez-Haikin *et al.*, 2015).

La alta productividad biológica de las aguas de BLA, provocada en gran medida por su interacción con el CB, favorece la presencia de *R. typus* durante estos seis meses al año. Tanto Nelson y Eckert (2000) como García-García (2002), Enríquez-Andrade *et al.*, (2003) y Vázquez-Haikin (2015) concuerdan en que BLA constituye un hábitat crítico al cual *R. typus* recurre estacionalmente en busca de alimento. Durante el mes de noviembre cuando la presencia de copépodos (*Acartia spp*, principal presa que busca el TB) llega al máximo (hasta > 50,000 ind m⁻³), con un promedio de 73.8 % sobre la abundancia del zooplancton (Hernández y Álvarez, 2013) coincide con la mayor abundancia del tiburón ballena.

La abundancia relativa (AR) del tiburón ballena que se observa dentro de la bahía año tras año presenta variaciones interanuales importantes, las cuales han sido relacionadas con: 1) las condiciones hidrológicas de la bahía, 2) cambios en los patrones de vientos y/o corrientes que pudieran, a su vez, conducir a cambios en la disponibilidad de alimento, y 3) las actividades humanas incluyendo la presión turística por el impacto que podría tener sobre el comportamiento del organismo.

1.2.1. Marco legal orientado al manejo para la conservación de tiburón ballena

A nivel mundial, la situación poblacional del TB es considerada como vulnerable, por lo que es una especie protegida según la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés). En México es considerada una especie amenazada y está bajo la protección de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-PESC-2006, de Pesca Responsable de Tiburones y Rayas, específicamente para su aprovechamiento no extractivo, que prohíbe la pesca, consumo y comercialización de la especie en el país (D. O. F., 2010).

La Ley General de Vida Silvestre tiene por objetivo principal el desarrollar lineamientos que enmarquen la política nacional en materia de vida silvestre y su hábitat, con lo cual se proporciona un aprovechamiento sustentable. Dicho principio atributivo permite el desarrollo de actividades económicas, como a manera de incentivo para la conservación. Esta ley da especial atención al tema de aprovechamiento no-extractivo, en particular, lo referente al llamado ecoturismo, que, si bien representa una fuente de oportunidades para la población de nuestro país, también puede representar riesgos eventuales para la conservación de la vida silvestre y su hábitat, especialmente cuando se carece de entendimiento claro de la problemática y los factores biológicos y ambientales que rodean estos recursos (García-García, 2002). Y en BLA parece

existir una demanda que genera oportunidades de desarrollo para la industria local con turismo sustentable.

En el año 2001, se inició el proyecto “Conservación y Aprovechamiento sustentable del Tiburón ballena a través del ecoturismo en Bahía de Los Ángeles, Baja California” llevado a cabo por un grupo conformado por el sector social (comunidad de BLA); el sector gubernamental (Dirección regional en Baja California del Área de Protección de Flora y Fauna-Islas del Golfo de California) y encabezado por el sector académico (Facultad de Ciencias Marinas, UABC) con el propósito de generar una propuesta para la conservación de la especie y de su hábitat en BLA basada en información estadística y científica del área.

En enero de 2003 se presentó la Propuesta del Programa de Manejo del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) con referencia específica a la “Reserva de la Biosfera Bahía de Los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes” (Fig. 1b) que abarca desde Puerta la Asamblea en el norte, hasta la Bahía de San Francisquito hacia el sur y limitada al oeste por la costa peninsular, y hacia el este en su mayoría por la Isla Ángel de la Guarda (Rodríguez-Dowdell *et al.*, 2003). El Programa de Monitoreo Biológico (PROMOBI) de tiburón ballena, se ha enfocado en caracterizar la agregación de los individuos y su hábitat en BLA y con ello ayudar a estructurar el Plan de Manejo Tipo para realizar aprovechamiento no extractivo (turismo, recreativo, educación y publicitario) del tiburón ballena (PMT-TB), el cual se basa en el conocimiento que se tiene sobre la especie e investigaciones en curso como la caracterización de las zonas en donde se agrupan las poblaciones. Se ha reportado que la agregación del tiburón ballena ocurre en su mayoría al sur de la bahía, razón por la cual se designó la Subzona de Uso Público Tiburón Ballena (SUP-TB; Fig. 6a) en donde se lleva a cabo la normatividad del PMT-TB para su conservación y el turismo sustentable (SEMARNAT-DGVS-CONANP, 2007).

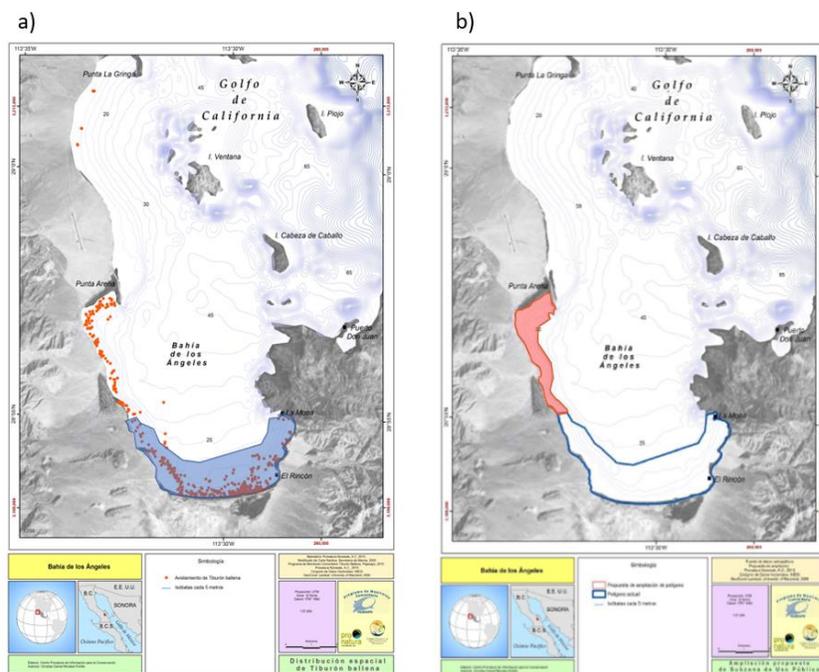


Figura 6. (a) Área definida como SUP-TB (zona en azul) para la conservación de la especie. Los puntos naranjas representan un avistamiento del tiburón ballena la agregación del 17 de junio-20 de noviembre en 2015. (b) Propuesta de ampliación (zona en rojo) de la Subzona de Uso Público Tiburón Ballena sugerida para la Reserva de la Biosfera de Bahía de Los Ángeles, Canales de Ballenas y Salsipuedes. (Imagen tomada de Vázquez-Haikin, 2015).

2. Antecedentes

Muy pocos trabajos se han realizado en base a la relación entre la presencia de tiburón ballena y la variabilidad en las condiciones hidrológicas.

Iwasaki (1969) trabajó con la frecuencia estacional del tiburón ballena y su relación con la variabilidad en la temperatura del aire, temperatura superficial del agua, perfiles de salinidad, y patrones de vientos, así como también corrientes en el Océano Pacífico sobre la costa este de Japón, en el periodo de 1955 a 1967. En dicho trabajo discute que parece haber una relación entre la agregación de tiburón ballena y un número de variables ambientales, reportando así que la especie tiene una preferencia por temperaturas entre 21 – 25 °C, donde las aguas acarreadas por surgencias ricas en nutrientes se mezclan con aguas superficiales y cálidas, con salinidades entre 34-34.5‰. La combinación de estos eventos describe las condiciones óptimas para la producción

de las especies de zooplancton de los cuales se alimenta el tiburón ballena, por ende, la especie tiende a regresar a la costa japonesa durante estos eventos.

Se ha reportado que la temporada de agregación de la especie en las aguas del Caribe mexicano (mayo-septiembre), estuvo caracterizada por temperatura superficial del mar entre 26.2 y 30 °C, los valores de salinidad durante la agregación se mantuvieron entre 35-35.4 y la saturación de oxígeno disuelto entre 110 - 150 % (Cárdenas-Palomo *et al*, 2009). Sin embargo, no existe un aporte de información sobre si existe esta relación entre las condiciones oceanográficas y la presencia o ausencia de la especie para aguas en el Pacífico mexicano o el Mar de Cortés.

Enríquez-Andrade y colaboradores (2003) especulan que pueden ser cuatro las causas que condicionan la variabilidad de los tiburones en BLA: 1) variaciones oceanográficas interanuales, 2) mortandad excesiva por pesca de la población de tiburones, 3) muertes incidentales ocasionadas por redes de pesca en el Golfo de California, y 4) hostigamiento excesivo a los organismos dentro de la bahía por parte de los turistas y científicos.

Vázquez-Haikin y colaboradores (2015) reportaron en BLA un total de 200 individuos identificados por medio de la técnica de identificación fotográfica y una distribución similar entre los años 2012-2015. Estos autores hacen énfasis en el incremento de la población desde los monitoreos de 2007, debido al esfuerzo de monitoreo o también por consecuencia de factores oceanográficos relacionados a escala local. La temperatura entre los meses de julio a noviembre muestra un máximo en agosto (31.4 °C) y un mínimo en noviembre (22 °C). Aunado a esto, un análisis de correlación entre la temperatura y el número de tiburones por mes, indica que si existe una correlación positiva ($r = 0.70$). Los valores de pH muestran una oscilación entre 8.2 y 8.4, el mes de junio presentó los valores más bajos y agosto los más altos. La correlación del número de TB con esta variable resulto negativa y baja ($r = -0.10$), por lo que sugiere que el pH no guarda relación con la abundancia relativa de tiburón ballena presente dentro de la bahía. Además, los valores de salinidad oscilaron entre 34.44 y 34.65, el valor promedio por mes fue mayor en septiembre y menor en el mes de agosto, mostrando que existe una correlación negativa entre esta variable y el número de individuos en el tiempo ($r = -0.65$).

3. Justificación

BLA es un área viable para realizar estudios relacionados con la utilización del hábitat, la alimentación, patrones de distribución y movimientos locales del TB, así como también los estudios enfocados a determinar el estado de las poblaciones que se presentan dentro del Mar de Cortés (Rodríguez-Dowdell *et al.*, 2008). Por esta razón, líneas prioritarias de investigación como la oceanografía, son fundamentales para el entendimiento de los procesos ecológicos que se llevan a cabo en la zona, ya que estos procesos tienen una influencia directa en las cadenas tróficas ligadas a la diversa productividad del océano, volviendo así a los depredadores tope indicadores biológicos de la salud de los ecosistemas.

A manera de sugerencia, Danemann (2004) menciona que se requieren estudios detallados de batimetría, circulación, generación de los procesos de surgencia, productividad primaria y efectos de la variabilidad climática en los procesos oceanográficos.

Así mismo, Iñiguez-Hernández (2004) sugiere que es importante que se realicen series de tiempo de los parámetros físico-químicos que permitan ver las variaciones ambientales a lo largo del día y en las diferentes estaciones del año lo que permitirá saber porque el tiburón se presenta estacionalmente.

En general, se conoce poco de la hidrología de Bahía de Los Ángeles debido a información insuficiente para una descripción de la dinámica del agua en todos sus campos de estudio. Estos conocimientos son indispensables para entender el comportamiento de las especies que se desarrollan dentro de la bahía y pueden además apoyar a la toma de decisiones para definir zonas para la conservación o uso recreativo de áreas destinadas al ecoturismo que se pretendan establecer dentro de BLA.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) en BLA, sugiere un monitoreo e investigación con respecto a la calidad del agua dentro y fuera del ANP, lo cual ha sido motivado por la disminución acelerada de la calidad del agua, posiblemente debido al incremento poblacional en el área, a las actividades antropogénicas y, a la respuesta de la bahía frente al cambio climático global (CONANP y GIZ, 2017).

La pérdida del hábitat del tiburón ballena representa una amenaza adicional, pues los sitios que frecuenta para alimentarse son vulnerables a la modificación para desarrollos turísticos costeros y a la contaminación, tanto por aguas negras como industriales (Ávila-Moreno, 2005).

Pese al apoyo que se le ha dado a la oceanografía en los últimos años, aún quedan en nuestro país cuerpos de agua que han sido escasamente estudiados con respecto a las condiciones oceanográficas. Por tal razón se vuelve necesario estudiar los factores hidrológicos para tener un mayor entendimiento del hábitat del tiburón ballena en BLA, el cual es necesario para el aprovechamiento adecuado y el desarrollo de áreas designada a la protección de la especie.

Vázquez-Haikin y colaboradores (2015), reportan el incremento de avistamientos de tiburón ballena fuera de la SUP-TB hacia la costa frente al poblado de BLA (área que presenta un mayor uso y tráfico de embarcaciones menores) por lo que sugieren una ampliación para SUP-TB (Fig. 6b), con la finalidad de implementar las medidas ajustadas a partir del PMT-TB de acuerdo a los requerimientos de la especie y considerando el uso del área. Para lograr esto, es necesario un estudio de la hidrología del área, y así determinar si la zona propuesta cumple con las condiciones oceanográficas preferentes para la especie en cuestión.

Sería difícil el poder afirmar si la información presentada hasta la actualidad es suficiente o no, pues en la realidad, lo que se ha recomendado en los últimos años es dar seguimiento y tratamiento a dicha información, ya que la información pierde valor si únicamente queda documentada y no se utiliza para integrarla en programas y proyectos enfocados a la conservación de las especies presentes en Bahía de Los Ángeles.

Con lo anterior en mente, el presente trabajo se realizó en respuesta a los indicadores de éxito del PLAN DE MANEJO PARA REALIZAR APROVECHAMIENTO NO EXTRACTIVO DE TIBURON BALLENA (*Rhincodon typus*) EN MEXICO, por parte de la DIRECCION DE VIDA SILVESTRE, SUBSECRETARIA DE GESTION PARA LA PROTECCION AMBIENTAL, COMISION NACIONAL DE AREAS NATURALES PROTEGIDAS, SEMARNAT en 2007.

Se espera que esta información pueda ayudar en los esfuerzos de manejo y conservación de *Rhincodon typus*, pues se considera que el entendimiento del porqué y cómo el tiburón ballena utiliza la bahía es crítico para un manejo efectivo de la especie.

4. Hipótesis

Existe una correlación entre la abundancia relativa (AR) del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) y zonas dentro de BLA con condiciones hidrográficas preferentes para estos organismos como temperatura, salinidad, densidad, pH, alcalinidad total, variaciones del sistema de carbono y condiciones de oxígeno.

La zona propuesta para la ampliación de la Subzona de Uso Público de Tiburón Ballena (SUP-TB) mantiene las condiciones oceanográficas preferentes para la especie durante la temporada de agregación de *Rhincodon typus*, esto es, se espera que ambas zonas dentro de BLA sean homogéneas en los parámetros antes mencionados, por lo que representan un mismo ambiente de distribución dentro de BLA.

5. Objetivos

- Presentar una serie de siete mapeos espaciales mensuales de las diferentes variables oceanográficas medidas para contrastar los cambios superficiales en conjunto a los avistamientos de tiburón ballena.
- Generar series temporales para describir los cambios en las condiciones oceanográficas físicas (temperatura, salinidad, densidad) y químicas (condiciones de oxígeno y carbono inorgánico disuelto, pH y AT), y de igual manera para la abundancia relativa (AR) de tiburón ballena a lo largo del periodo de muestreo.
- Interpolar la información generada a partir de los objetivos anteriores, las variables medidas y la distribución espacial y temporal del tiburón ballena, con el fin de definir los sitios óptimos, esto es, con las condiciones oceanográficas favorables para la presencia de la especie.

Se espera que el resultado de estos objetivos contribuya a definir que la zona propuesta para la ampliación de la SUP-TB cumple con las condiciones oceanográficas favorables para la especie.

6. Materiales y Método

El presente trabajo se dividió en un análisis que consta de tres secciones. 1) una descripción de las condiciones oceanográfica espaciales y temporales de dentro de BLA, 2) la recopilación de información poblacional de tiburón ballena durante la temporada de agregación de la especie (junio-diciembre de 2017), y 3) se realizó una correlación en conjunto con las dos primeras secciones para poder definir la relación hábitat-especie.

6.1.PRIMERA SECCIÓN

Enríquez-Andrade *et al* (2003) sugiere que las variaciones oceanográficas interanuales pueden ser una de las causas que condicionan la variabilidad poblacional del tiburón ballena, por esta razón se definió un muestreo superficial a lo largo de toda la costa, desde Punta La Gringa hasta Punta Roja (Fig. 2a), con los cuales se realizaron mediciones de las siguientes variables: temperatura, salinidad, densidad, pH, alcalinidad total, condiciones del carbono inorgánico disuelto, presión parcial del CO₂, saturación de oxígeno y la utilización aparente de oxígeno, durante el periodo de muestreo desde el mes de junio hasta el mes de diciembre del año 2017.

6.1.1. Área de estudio

El área de estudio se definió tomando en cuenta el método propuesto por Iñiguez-Hernández en 2004 para la ubicación de la especie *Rhincodon typus* y también siguiendo la ruta de las corrientes costeras descritas por Buenrostro y colaboradores (1991). Posicionando así las estaciones sobre la isobata de los 20 m a lo largo de la costa dentro de la bahía. Así también, se tomó en cuenta la literatura reportada por Vázquez-Haikin y colaboradores en 2015 sobre la ubicación de la mayor presencia del tiburón ballena en la parte sur de la bahía. Por lo anterior, la bahía se dividió en dos secciones (Fig. 7): 1) la **sección norte** (SN), en donde se reporta una presencia casi nula de la especie, y que comprende desde la ensenada La Gringa hasta el lado expuesto de la barra de Punta Arena, y 2) la **sección sur** (SS), en donde la agregación de la especie es más evidente, la cual abarca desde la ensenada frente al poblado de BLA hasta la SUP-TB y el Rincón.

6.1.2. Trabajo en campo

6.1.2.1. Itinerario de muestreo

Se programaban dos días a la semana para realizar los recorridos. Para cubrir el muestreo en la SN se contó con el apoyo de embarcaciones menores de la CONANP de BLA y la SS se realizaba en conjunto con el monitoreo poblacional de tiburón ballena que se realiza por parte del grupo comunitario PEJESAPO.

6.1.2.2. Toma de muestras de los parámetros físico-químicos

Durante cada muestreo en cada estación se tomó registro de la *temperatura* superficial *in situ* con una sonda multiparámetros (± 0.1 °C; HI 9813-5, HANNA).

La colecta para las mediciones de oxígeno disuelto se realizó con botellas de 300 mL en las cuales se fijó el oxígeno disuelto con soluciones de sulfato manganoso (i. e., solución A, 1 mL) y con yoduro alcalino (i. e., solución B, 1mL), para posteriormente llevar a cabo su análisis en el laboratorio.

Para la colecta de agua para el análisis del CO₂, se realizó la colecta de agua superficial, evitando la formación de burbujas, de donde se tomaron 120 mL de agua en viales de borosilicato. Cada muestra de agua fue envenenada con cloruro de mercurio (HgCL₂) con el fin de preservar y llevar a cabo el análisis en el laboratorio de las variables del CO₂. Los análisis fueron realizados en, las instalaciones del Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) para obtener las mediciones de CID, presión parcial del CO₂ (*p*CO₂), el pH medido en escala de protones totales) y la salinidad.

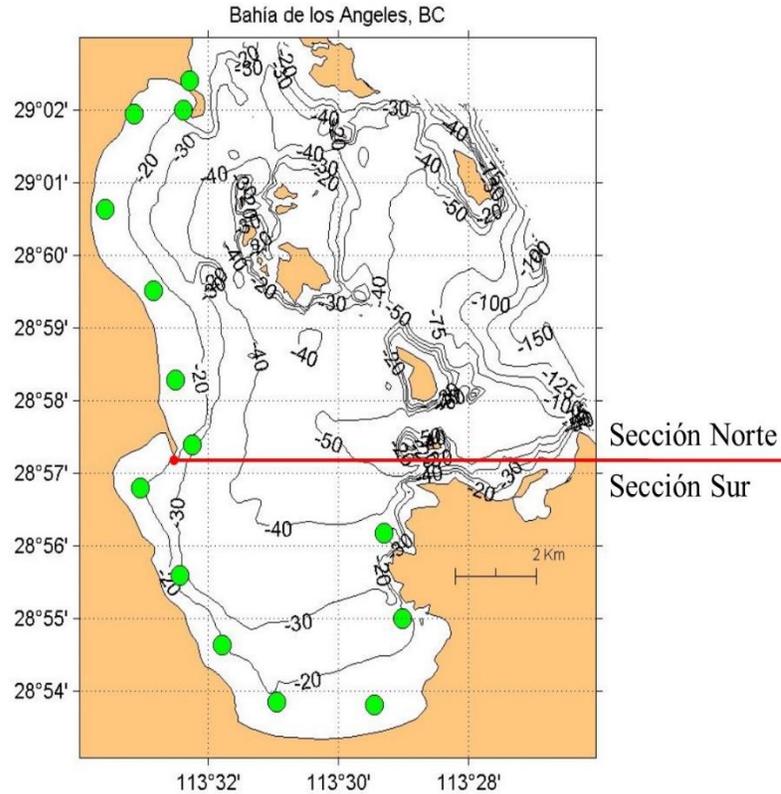


Figura 7. Área de estudio y las estaciones de muestreo costeras (BLA01 al norte y BLA14 hacia el sur) sobre la isobata de 20m, con la división de la sección norte de la sección sur (línea roja).

6.1.3. Mediciones en laboratorio

6.1.3.1. Mediciones de oxígeno disuelto

Para la determinación de la concentración oxígeno disuelto, se siguió el método descrito por Winkler, el cual permite determinar la concentración de oxígeno disuelto en mg l^{-1} , y posteriormente se hizo la transformación a $\mu\text{mol kg}^{-1}$. Con este valor observado en campo se calculó el porcentaje de saturación de oxígeno y la utilización aparente de oxígeno (UAO). Al inicio de cada mes de muestro se generó un factor de calibración, así como también un blanco o testigo y con ello se ajustaron los valores de concentración de oxígeno al hacer la titulación con tiosulfato de sodio (0.01N).

Tabla I. Coordenadas de las estaciones de muestreo costero y superficial en BLA.

<i>No.</i>	<i>Estación</i>	<i>Latitud</i> <i>[grados norte]</i>	<i>Longitud</i> <i>[grados oeste]</i>
1	BLA01	29.040	-113.538
2	BLA02	29.033	-113.539
3	BLA03	29.032	-113.553
4	BLA04	29.010	-113.559
5	BLA05	28.992	-113.547
6	BLA06	28.971	-113.541
7	BLA07	28.956	-113.537
8	BLA08	28.946	-113.550
9	BLA09	28.926	-113.540
10	BLA10	28.910	-113.529
11	BLA11	28.897	-113.515
12	BLA12	28.896	-113.490
13	BLA13	28.916	-113.483
14	BLA14	28.936	-113.488

6.1.3.2. Mediciones de CID

La concentración de carbono inorgánico disuelto (CID) fue medida usando un analizador de gas por infrarrojo (LI-7000), dosificada con una jeringa “Kloen”, la cual toma 2 ml de muestra de agua de mar que se dispensa en una cámara de extracción, en donde es suministrado ácido fosfórico al 10 %, y se usa un gas (N_2) para transportar el CO_2 . El método tiene una precisión de 1 % ($\pm 2 \mu\text{mol kg}^{-1}$) con un error de ± 0.2 %.

6.1.3.3. Mediciones de pH_T espectrofotométrico

El pH en la escala de agua de mar (en adelante mencionado como pH_{AM}) se obtuvo mediante un método espectrofotométrico propuesto por Clayton & Byrne (1993) que consiste en estandarizar las muestras. Las concentraciones de protones en escala total se miden utilizando meta cresol purpura (mCP) 10mM. Las mediciones de absorbancia se realizaron utilizando un espectrofotómetro USB 4000 acoplado a una lámpara de tungsteno marca OCEAN VIEW. Las temperaturas se mantuvieron controladas en el laboratorio a una temperatura de 25 °C para cada muestra. Con un control de calidad se utilizó el estándar de pH Tris, proporcionado por el laboratorio del Dr. Andrew Dickson de Scripps Institution of Oceanography. Posteriormente se aplicó una corrección por absorbancia de impurezas presentes en el mCP (Douglas y Byrne, 2017), con un factor de corrección ${}_{434A_{imp}}$ de 8.527×10^{-3} para la concentración final en la muestra de mCP de 1.7 μM . El método tiene una precisión de ± 0.005 unidades de pH , una exactitud de ± 0.002 y un error de medición de 0.023 %.

6.1.3.4. Mediciones de alcalinidad total (AT)

Las mediciones de alcalinidad total se llevaron a cabo con el método potenciométrico descrito por Hernández-Ayón y colaboradores en 1999. Se utilizó material de referencia de laboratorio del Dr. Andrew Dickson de Scripps Institution of Oceanography para las mediciones en laboratorio. Con este método se puede alcanzar una exactitud, con respecto al material de referencia, de $\pm 2 \mu\text{mol kg}^{-1}$, con una precisión de mediciones de ± 0.14 %. Las titulaciones se realizaron en una celda abierta utilizando 60 mL de muestra previamente pesada. El sistema de titulación consiste de un electrodo y una jeringa programable Metrohm, controlado a través de un programa en Visual Basic. En la primera etapa de la titulación, durante la protonación de carbonatos a bicarbonatos, se realizan adiciones progresivas de 40 μL hasta alcanzar 1 mL de HCl con una

concentración de 0.1 M. Al finalizar, se adicionaron 15 μ L para que el bicarbonato sea convertido a ácido carbónico.

6.2. SEGUNDA SECCIÓN

La segunda sección, se enfocó en la colecta de información poblacional de *Rhincodon typus* la cual consistió en fotografiar el costado izquierdo (Fig. 8) de cada organismo que se lograba avistar en los recorridos semanales durante la temporada de agregación 2017 (junio-diciembre). Con este registro fotográfico se realizó una identificación a nivel individuo, con ayuda del programa I3S (Arzoumanian *et al.* 2005) y de esta manera poder estimar la abundancia relativa (AR) de tiburón ballena durante la temporada de agregación 2017. La información fue proporcionada por Abraham Vázquez Haikin, líder del grupo de monitoreo comunitario PEJESAPO. Esta información se pudo contrastar con las mediciones de las condiciones hidrológicas en su distribución espacial con respecto a la AR de tiburón ballena para cada mes.

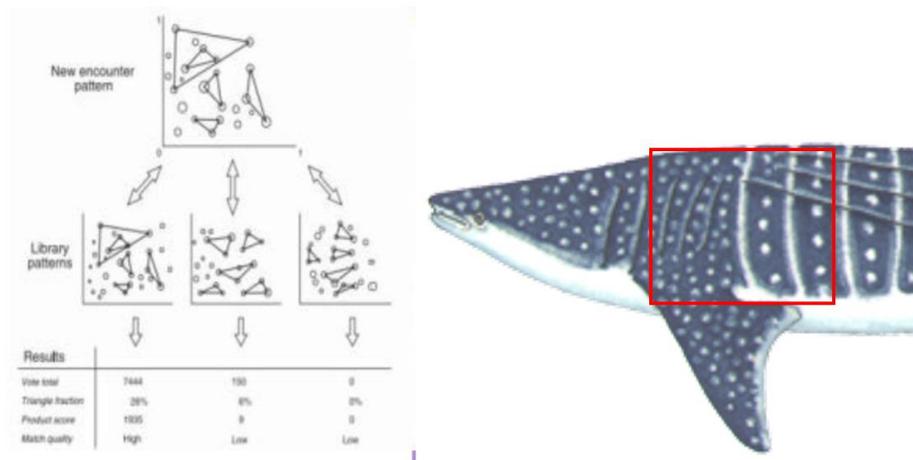


Figura 8. Región específica del costado izquierdo para la identificación fotográfica del tiburón ballena nivel individuo para el programa I3S.

6.3. TERCERA SECCIÓN

Finalmente, para la tercera sección, se realizó una correlación entre las variables hidrológicas medidas de la primera sección y la información poblacional de la especie en la segunda sección, con la finalidad de describir la relación entre la presencia de la especie y las condiciones oceanográficas químicas de Bahía de Los Ángeles.

6.3.1. Correlación Especie-Variable

Para encontrar una relación entre las variables medidas y la presencia del tiburón ballena se hizo un análisis de correlación de Pearson (Ec. 1) a partir de los datos oceanográficos obtenidos con respecto a la AR mensual de la especie, tanto para la sección norte como para la sección sur.

$$r = \frac{N \sum(X*Y) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} * \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

r: es el coeficiente de la correlación de Pearson.

N: es el número de datos obtenidos durante el periodo de muestreo.

X: los valores promedio mensuales de la abundancia relativa de tiburón ballena.

Y: los valores promedio mensuales de cada una de las variables medidas.

7. Resultados

7.1. Abundancia relativa de tiburón ballena

Se pudo observar una clara diferencia entre la AR de tiburón ballena entre la SN y la SS. A partir del inicio de muestreo (27 de junio), la especie comenzó a presentarse dentro de la bahía, aunque con pocos individuos y solamente en la SS con una AR de 4 ± 2 ind. Posteriormente, este valor comenzó a aumentar ligeramente hasta llegar a un máximo de agregación para el mes de octubre, con una AR de 12 ± 3 ind., y al inicio de la temporada fría, se observó una drástica disminución llegando hasta 0 ind. para el mes de diciembre (Tabla III). En la SN la agregación es relativamente nula, con un máximo de 2 ± 1 ind. en el mes de julio, 1 ind. en el mes de septiembre y durante el resto de la temporada no se presentó ningún organismo en esta sección (Anexo I; Tabla II).

Con respecto a la AR, 2017 fue considerado como un año anómalo, representado por una menor abundancia en comparación a un año tipo (Fig. 18), sin embargo, se pudo observar una tendencia similar, presentando un máximo de AR en el mes de octubre con cerca de 12 individuos en la SS y un mínimo en el mes de diciembre disminuyendo hasta 0 individuos en toda la bahía.

Tabla II. Datos promedio mensuales (desviación estándar) de la abundancia relativa (AR) de tiburón ballena y las diferentes variables medidas para la sección norte.

	AR TB	Temp. [°C]	Sal. [PSU]	Densidad [kg m ⁻³]	pH [Escala agua de mar]	AT [μmol kg ⁻¹]	CID [μmol kg ⁻¹]	pCO ₂ [μatm]	Sat. O ₂ [%]	UAO [μmol kg ⁻¹]
Junio	0	27.11 (± 0.73)	34.83 (± 0.23)	1022.5 (± 0.22)	8.00 (± 0.05)	2403 (± 17.45)	2094 (± 33.24)	50.9 (± 69.89)	154.7 (± 14.08)	-114.9 (± 27.90)
Julio	2 (± 1)	27.58 (± 0.87)	34.68 (± 0.24)	1022.2 (± 0.25)	8.04 (± 0.05)	2407 (± 20.67)	2070 (± 24.47)	0.8 (± 55.81)	148.8 (± 9.95)	-102.3 (± 19.39)
Agosto	0	28.74 (± 1.00)	34.59 (± 0.15)	1021.8 (± 0.33)	7.96 (± 0.03)	2380 (± 13.29)	2086 (± 13.23)	94.7 (± 38.47)	134.1 (± 7.86)	-71.3 (± 14.99)
Septiembre	1 (± 0)	29.02 (± 1.33)	34.81 (± 0.09)	1021.9 (± 0.44)	8.00 (± 0.04)	2384 (± 11.67)	2063 (± 16.95)	44.6 (± 51.39)	128.6 (± 12.13)	-59.9 (± 23.49)
Octubre	0	24.21 (± 0.53)	34.13 (± 0.13)	1023.3 (± 0.15)	7.93 (± 0.02)	2529 (± 6.32)	2278 (± 9.98)	178.6 (± 26.13)	108.4 (± 3.97)	-21.4 (± 8.24)
Noviembre	0	22.68 (± 1.26)	34.71 (± 0.26)	1023.8 (± 0.26)	8.02 (± 0.05)	2376 (± 22.72)	2101 (± 29.51)	29.5 (± 57.78)	126.9 (± 12.55)	-63.2 (± 27.18)
Diciembre	0	19.99 (± 0.17)	34.43 (± 0.08)	1024.3 (± 0.09)	7.69 (± 0.04)	2316 (± 7.85)	2212 (± 13.12)	592.5 (± 113.44)	113.7 (± 1.75)	16.3 (± 118.11)

Tabla III. Datos promedio mensuales (desviación estándar) de la abundancia relativa (AR) de tiburón ballena y las diferentes variables medidas para la sección sur.

	AR TB	Temp [°C]	Sal [PSU]	Densidad [kg m ⁻³]	pH [Escala agua de mar]	AT [μmol kg ⁻¹]	CID [μmol kg ⁻¹]	pCO ₂ [μatm]	Sat. O ₂ [%]	UAO [μmol kg ⁻¹]
Junio	4 (± 3)	27.04 (± 0.48)	34.91 (± 0.16)	1022.6 (± 0.20)	8.07 (± 0.02)	2412 (± 6.62)	2062 (± 10.75)	-28.4 (± 19.03)	154.8 (± 7.03)	-115.5 (± 13.74)
Julio	2 (± 1)	27.77 (± 0.87)	34.98 (± 0.23)	1022.2 (± 0.27)	8.03 (± 0.05)	2406 (± 19.16)	2075 (± 25.90)	13.4 (± 55.18)	146.7 (± 9.21)	-97.9 (± 17.89)
Agosto	8 (± 6)	29.47 (± 1.03)	34.68 (± 0.16)	1021.6 (± 0.30)	7.98 (± 0.03)	2384 (± 11.98)	2072 (± 20.64)	70.6 (± 43.86)	134.7 (± 12.38)	-71.4 (± 23.73)
Septiembre	11 (± 4)	27.61 (± 1.51)	34.81 (± 0.07)	1022.3 (± 0.50)	8.02 (± 0.04)	2388 (± 11.56)	2064 (± 9.56)	16.1 (± 45.29)	127.4 (± 6.47)	-59.3 (± 13.65)
Octubre	12 (± 3)	25.20 (± 0.32)	34.06 (± 0.05)	1023.0 (± 0.07)	7.99 (± 0.04)	2537 (± 5.97)	2248 (± 26.66)	97.2 (± 50.91)	127.6 (± 12.28)	-51.3 (± 25.47)
Noviembre	6 (± 2)	22.35 (± 1.25)	34.63 (± 0.23)	1023.8 (± 0.25)	8.01 (± 0.04)	2374 (± 22.33)	2105 (± 24.77)	33.6 (± 51.79)	125.5 (± 10.26)	-60.8 (± 22.34)
Diciembre	0	19.56 (± 0.26)	34.41 (± 0.04)	1024.4 (± 0.10)	7.68 (± 0.03)	2309 (± 12.19)	2212 (± 16.76)	620.7 (± 77.29)	109.5 (± 1.22)	-27.2 (± 2.79)

Con respecto al comportamiento de las condiciones de las diferentes variables medidas durante el periodo de muestreo fueron muy similares entre ambas secciones, aunque se puede notar una ligera diferencia entre la SN y la SS.

En los próximos puntos se hará una descripción individual de cada una de las variables medidas a lo largo del periodo de muestreo a la par de la AR de tiburón ballena.

7.2. Temperatura

Durante los primeros cuatro meses de la temporada cálida, que corresponden desde el mes de junio hasta el mes de septiembre, la temperatura superficial fue en un ligero aumento desde ~ 27 °C hasta un máximo de $\sim 29.1 \pm 0.8$ °C (Fig. 9). En el mes de agosto se puede observar un máximo de temperatura en la SS (Fig. 9c), donde se encuentra la zona propuesta para la ampliación de la SUP-TB, llegando a un máximo de 31.3 °C (13 de agosto), mientras que el resto del periodo de muestreo no difieren tanto entre ambas secciones.

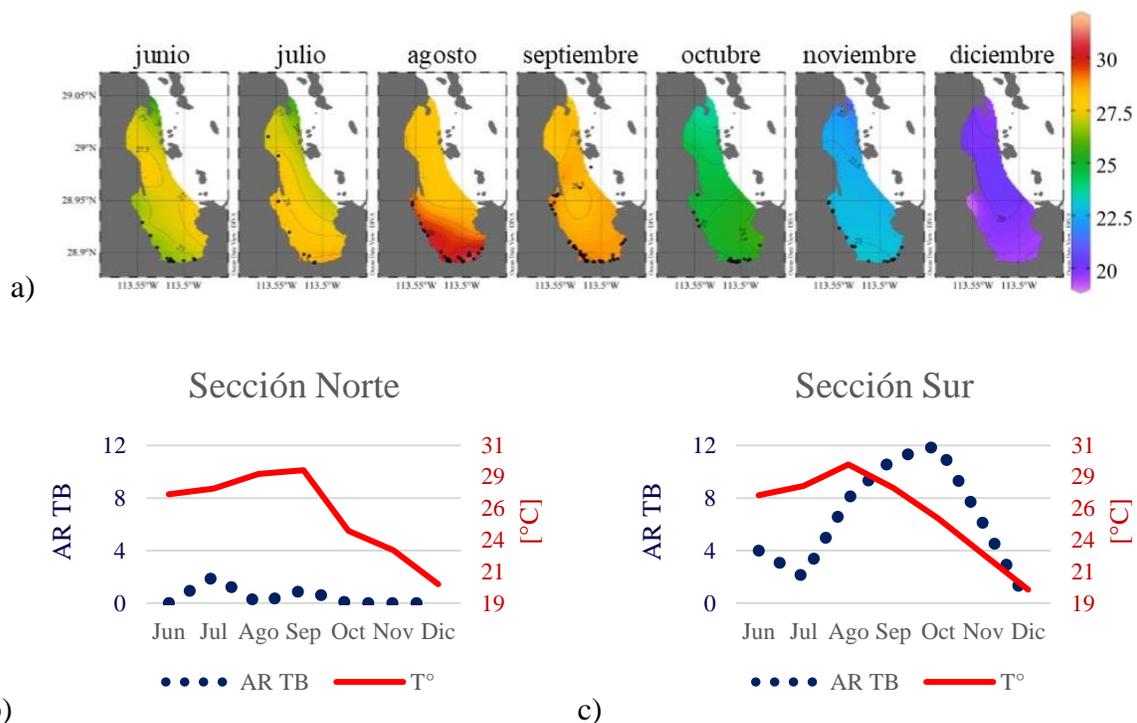


Figura 9. Arriba: a) mapeos espaciales (arriba) de temperatura contra la abundancia relativa de tiburón ballena (puntos negros). Abajo: series temporales para la b) sección norte (izquierda) y c) sección sur (derecha).

Cuando se observa el comienzo de la disminución de la temperatura durante en el mes de septiembre ($\sim 28.2\text{ }^{\circ}\text{C}$), es cuando la agregación del tiburón ballena dentro de la bahía (específicamente en la SS) es muy evidente y ocurre el máximo de AR en el mes de octubre cuando la temperatura se mantuvo sin muchos cambios ($24.7 \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$). La disminución de la AR del tiburón ballena fue muy evidente al comenzar el mes de diciembre, cuando las condiciones de temperatura en ambas secciones llegaron a un mínimo de temperatura superficial de $19.7 \pm 0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$, al comenzar la temporada fría.

7.3. Salinidad

Durante el mes de junio al mes de julio se pudo identificar parches de salinidad máxima que se desplazaron hacia el sur tanto para la SN en la Ensenada La Gringa y otro parche en la SS (Fig. 10a), con valores de salinidad de 35.05 ± 0.05 (Fig. 10b, c). En el mes de septiembre la salinidad comienza a homogenizarse en toda el área de la bahía (Fig. 10a) manteniendo un rango de salinidad promedio de 34.8 ± 0.01 .

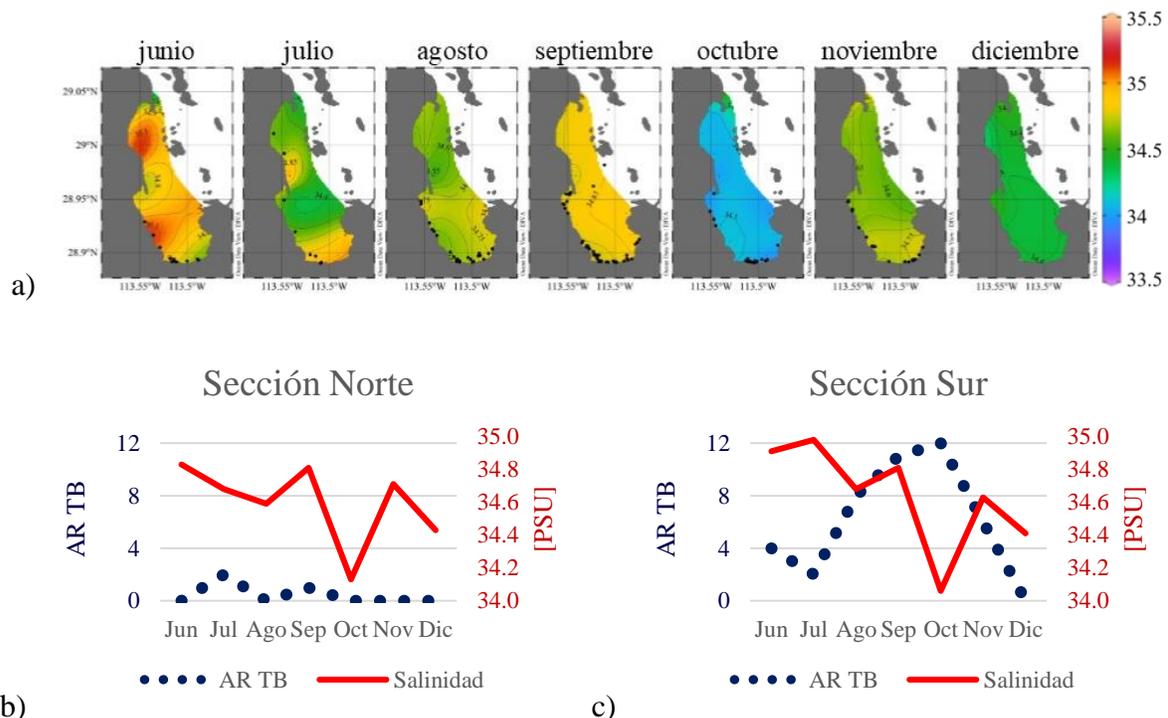


Figura 10. Arriba: a) mapeos espaciales (arriba) de salinidad contra la abundancia relativa de tiburón ballena (puntos negros). Abajo: series temporales para la b) sección norte (izquierda) y c) sección sur (derecha).

Mientras que para el mes de octubre se observó una drástica y marcada disminución de la salinidad hasta llegar a un mínimo de 33.71 en la SN y 34.05 en la SS, valores por debajo del promedio en el océano (~35.0). Durante este evento la AR de tiburón ballena llegó al valor máximo de agregación. Posteriormente y al comenzar la temporada fría (noviembre – diciembre) la salinidad comenzó a aumentar en valores de entre 34.55 ± 0.15 y mantuvieron una distribución espacial similar en ambas secciones de la bahía para la temporada fría (Fig. 10a).

7.4. Densidad

Con respecto a la variable densidad, se puede observar un comportamiento inverso a la temperatura (Fig. 11a). Durante la temporada cálida, la densidad se mantuvo con valores de $1022.25 \pm 1.25 \text{ kg m}^{-3}$ y a partir del inicio de la temporada fría, estos valores comenzaron a aumentar de manera homogénea en toda el área superficial de la bahía hasta un máximo de 1024.6 kg m^{-3} en diciembre (Fig. 11b, c).

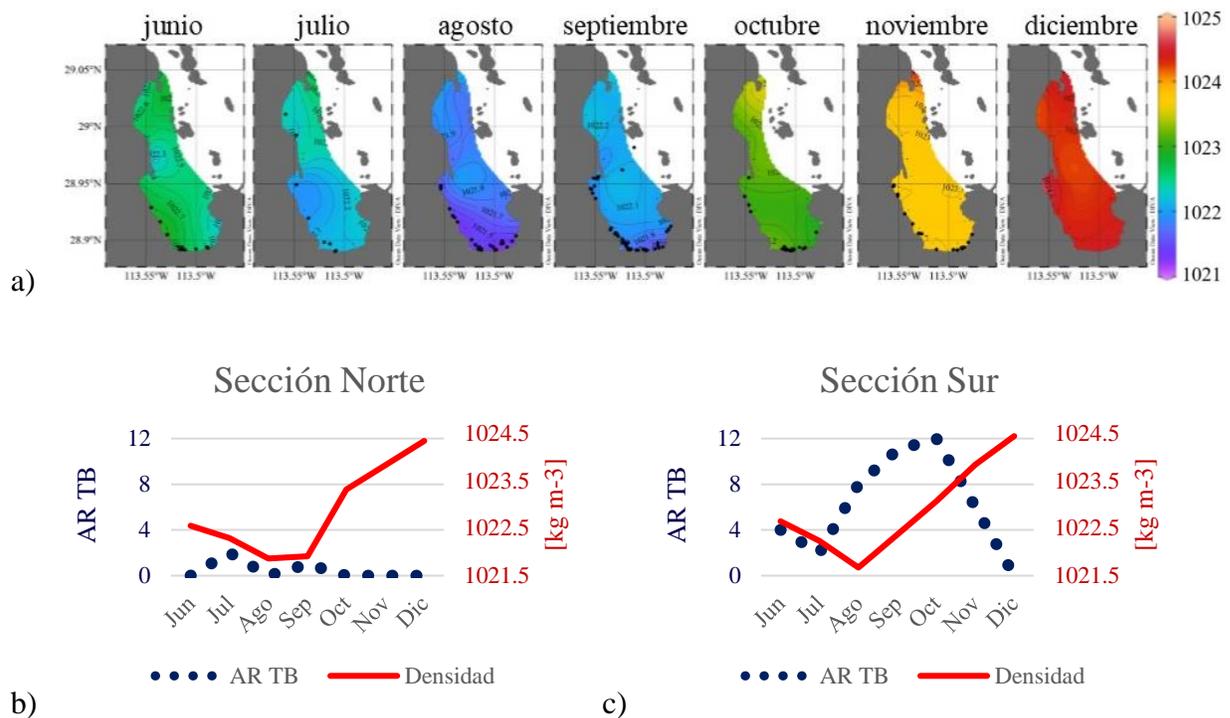


Figura 11. Arriba: a) mapeos espaciales (arriba) de densidad contra la abundancia relativa de tiburón ballena (puntos negros). Abajo: series temporales para la b) sección norte (izquierda) y c) sección sur (derecha).

7.5. pH

Los valores de pH a lo largo del periodo de estudio oscilaron entre 7.65 y 8.10 (Fig. 12), se puede observar que estos valores presentan una ligera tendencia a disminuir en valor desde la temporada cálida hacia la temporada fría. Los resultados muestran que durante la temporada cálida se presentaron los valores máximos tanto para la SN como para la SS, a pesar de esto, se puede notar una diferencia relativa/aparente entre ambas secciones, presentando condiciones más cambiantes en las condiciones para la SN que en la SS, donde las condiciones presentaron una tendencia más estable. La correlación con esta variable y la AR fue baja y positiva para la SS con un valor de $r = 0.42$, y con un menor valor ($r = 0.30$) para la SN.

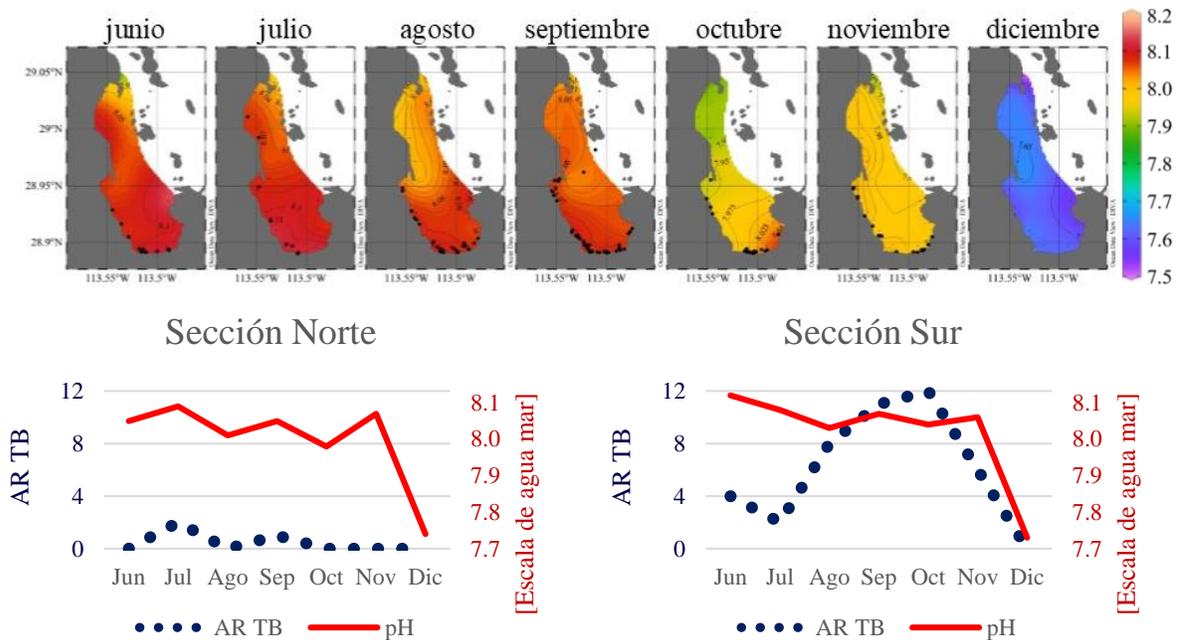


Figura 12. Arriba: a) mapeos espaciales (arriba) de pH contra la abundancia relativa de tiburón ballena (puntos negros). Abajo: series temporales para la b) sección norte (izquierda) y c) sección sur (derecha).

En octubre (mes de mayor abundancia relativa de tiburón ballena) los valores se mantuvieron cerca de 7.96 ± 0.03 espacialmente. Sin embargo, no se observó ninguna anomalía como fue el caso de la salinidad durante este mes.

Para la temporada fría, en el mes de diciembre, el pH bajo hasta un valor de 7.6 ± 0.1 , es entonces cuando la AR del tiburón llega a su valor mínimo con una ausencia de la especie (Fig. 12b, c).

7.6. Alcalinidad total

Entre los meses de junio a noviembre la alcalinidad total (AT) (Fig. 13) no presentó mucha variación a lo largo del tiempo o en una distribución espacial, los valores se mantuvieron en un promedio de $2396.19 \pm 19.7 \mu\text{mol kg}^{-1}$, sin embargo, en el mes de octubre al igual que la salinidad, se presentó una anomalía con valores máximos de $2533.5 \pm 4.3 \mu\text{mol kg}^{-1}$ (mes de mayor AR de tiburón ballena). Para el mes de diciembre estos valores disminuyeron para continuar con la tendencia de los meses anteriores y llegar a un mínimo de $2344.18 \pm 35 \mu\text{mol kg}^{-1}$. Se encontró una correlación moderadamente positiva para la SS con un valor de $r = 0.64$, pero mucho menor y negativo para la SN con un valor de $r = -0.09$.

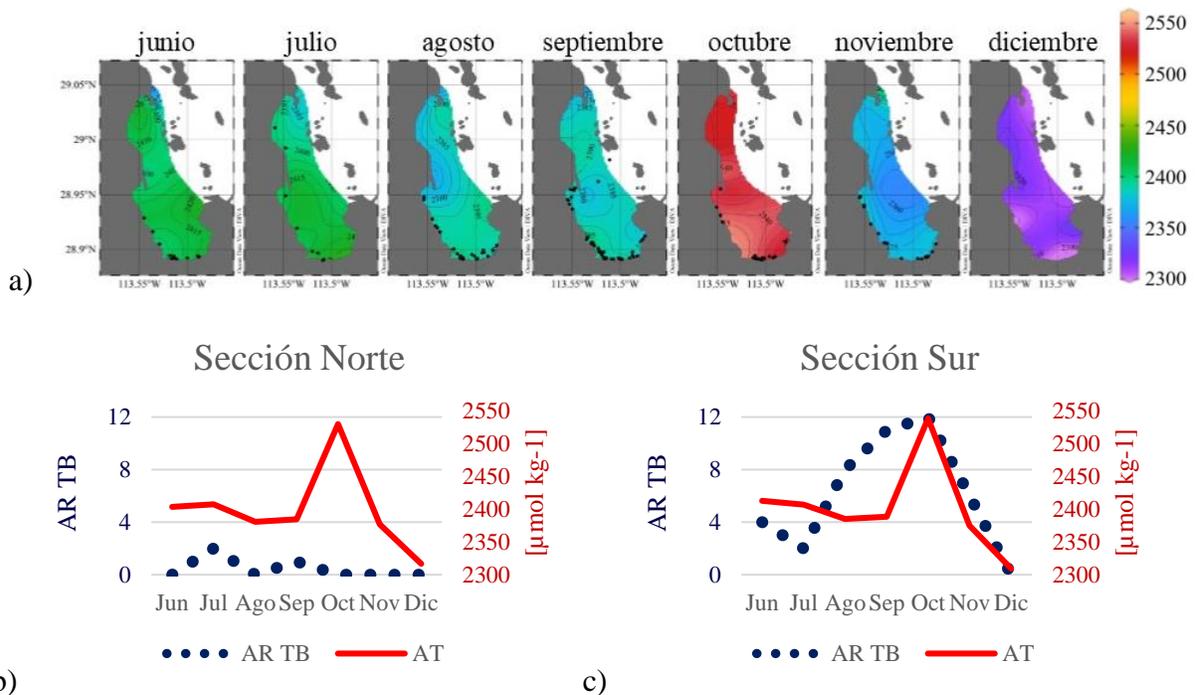


Figura 13. Arriba: a) mapeos espaciales (arriba) de alcalinidad total (AT) contra la abundancia relativa de tiburón ballena (puntos negros). Abajo: series temporales para la b) sección norte (izquierda) y c) sección sur (derecha).

7.7. Gases disueltos

7.7.1. Condiciones del sistema del CO₂

Durante el verano las concentraciones de carbono inorgánico disuelto (CID) se mantuvieron en rangos de valores de $2084.75 \pm 14.33 \mu\text{mol kg}^{-1}$ en la SN y con una menor concentración para la SS $2063.97 \pm 4.01 \mu\text{mol kg}^{-1}$, sin un cambio aparente en la distribución espacial para cada sección (Fig. 14a). Al igual que en la salinidad y la AT, en el mes de octubre se observó una anomalía en esta concentración con valores que llegaron a una concentración máxima de hasta $2263.6 \pm 15.2 \mu\text{mol kg}^{-1}$. En el mes de noviembre, esta concentración disminuyó hasta valores cercanos a la tendencia que había para la temporada cálida, y a partir de entonces comenzó a aumentar para el mes de diciembre con valores máximos que alcanzaron los $2212 \pm 0.07 \mu\text{mol kg}^{-1}$.

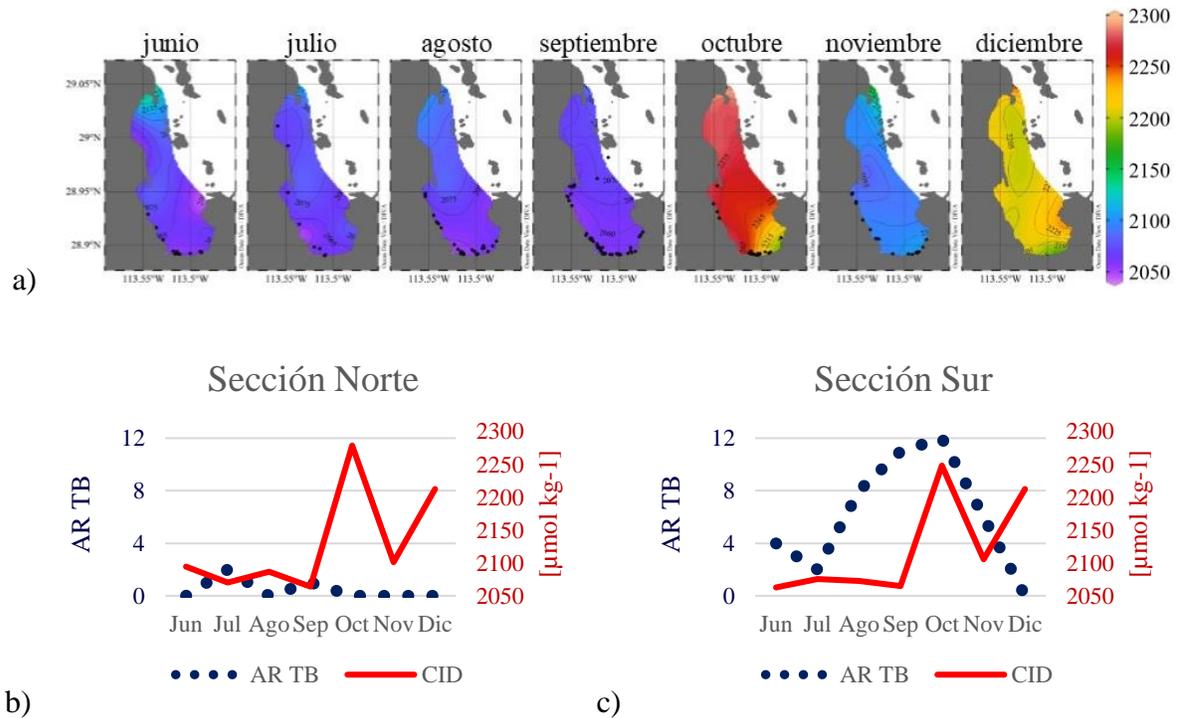


Figura 14. Arriba: a) mapeos espaciales (arriba) de carbono inorgánico disuelto (CID) contra la abundancia relativa de tiburón ballena (puntos negros). Abajo: series temporales para la b) sección norte (izquierda) y c) sección sur (derecha).

La presión parcial del CO₂ ($p\text{CO}_2$) no mostró mucha variación en los meses cálidos (junio a octubre) manteniéndose en valores mínimo de $11.25 \mu\text{atm}$ y aumentando ligeramente hasta

141.03 μatm (Fig. 15). Sin embargo, es en el mes de diciembre (inicio de la temporada fría) cuando se presenta un aumento drástico en los valores de $p\text{CO}_2$ llegando hasta un máximo de 551.53 μatm en la SN y 620.68 μatm en la SS.

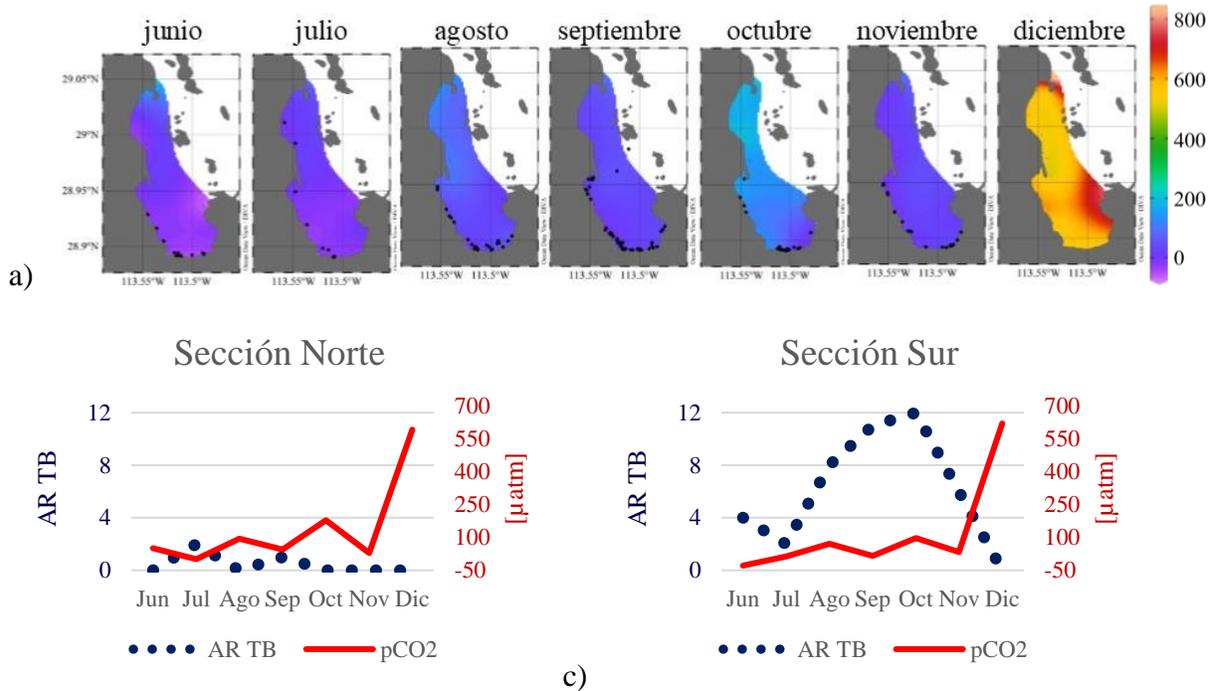


Figura 15. Arriba: a) mapeos espaciales (arriba) de $p\text{CO}_2$ contra la abundancia relativa de tiburón ballena (puntos negros). Abajo: series temporales para la b) sección norte (izquierda) y c) sección sur (derecha).

No se encontró una relación con respecto a la AR y la concentración de CID para la SS, pero si para la SN con una correlación moderadamente negativa de $r = -0.46$. Con respecto a la $p\text{CO}_2$ se encontró una correlación moderada y negativa para ambas secciones, pero difieren en valor, siendo mayor para la SS con un valor de $r = -0.46$ y $r = -0.31$ para la SN.

7.7.2. Condiciones del sistema del oxígeno

Las condiciones de saturación de oxígeno y la utilización aparente de oxígeno (UAO), tanto para la SN como en la SS, presentaron un notorio comportamiento que difiere entre ambos casos. Con un porcentaje de saturación de oxígeno y una UAO menor en la SN que en la SS durante la temporada cálida.

El porcentaje de saturación de oxígeno presentó siempre una sobresaturación durante los meses de muestreo en toda la bahía, lo que sugiere una producción máxima de oxígeno durante la temporada cálida, con valores máximos de ~ 155 % y una disminución de hasta ~ 110 % en la temporada fría (Fig. 16), presentando un caso particular con un mínimo de 108 % en el mes de octubre para la SN. Sin embargo, la máxima agregación de la especie se mantuvo principalmente con valores de 136.7 ± 28 % de saturación de oxígeno.

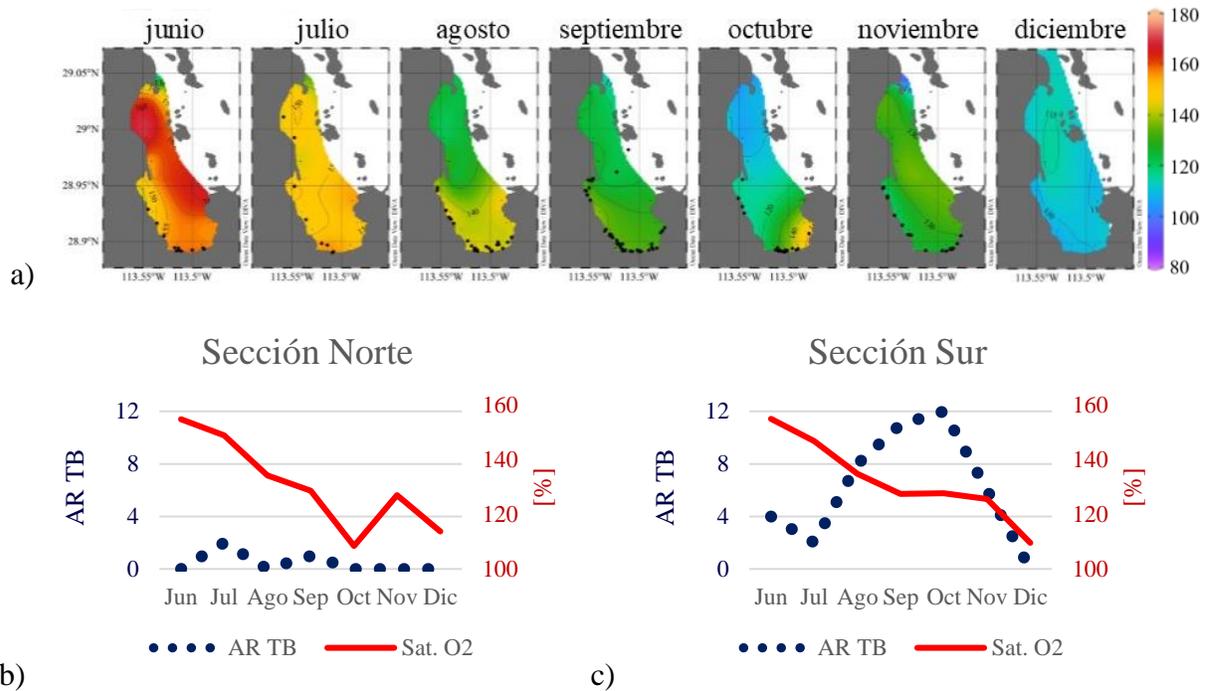


Figura 16. Arriba: a) mapeos espaciales (arriba) de porcentaje de saturación de oxígeno contra la abundancia relativa de tiburón ballena (puntos negros). Abajo: series temporales para la b) sección norte (izquierda) y c) sección sur (derecha).

El aumento y máximo en la presencia del tiburón ballena es evidente durante los meses de agosto a octubre, cuando los valores de saturación de oxígeno se encuentran entre los valores de 127.6 y 143.8 %. y una utilización aparente de oxígeno con valores negativos de entre -87.8 y $-61.3 \mu\text{mol kg}^{-1}$.

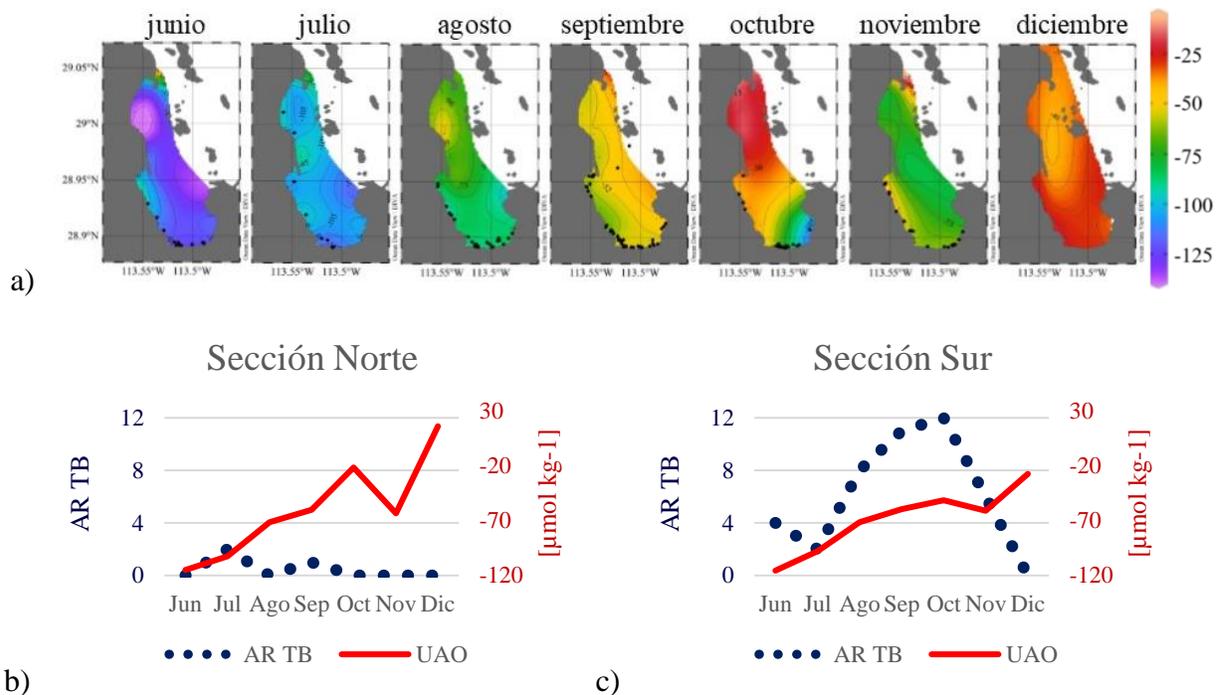


Figura 17. Arriba: a) mapeos espaciales (arriba) de utilización aparente de oxígeno (UAO) contra la abundancia relativa de tiburón ballena (puntos negros). Abajo: series temporales para la b) sección norte (izquierda) y c) sección sur (derecha).

No se puede reportar una relación entre la AR y las condiciones de oxígeno directamente observando la saturación de oxígeno, esto debido a que la correlación es baja para ambas secciones con respecto a esta variable, con un valor de $r = 0.03$ en la SN y $r = -0.07$ para la SS. En otro aspecto, se encontró una relación moderada y positiva para la UAO con una mayor correlación en la SS $r = 0.52$ y menor pero aun moderada para la SN con un valor de $r = 0.42$.

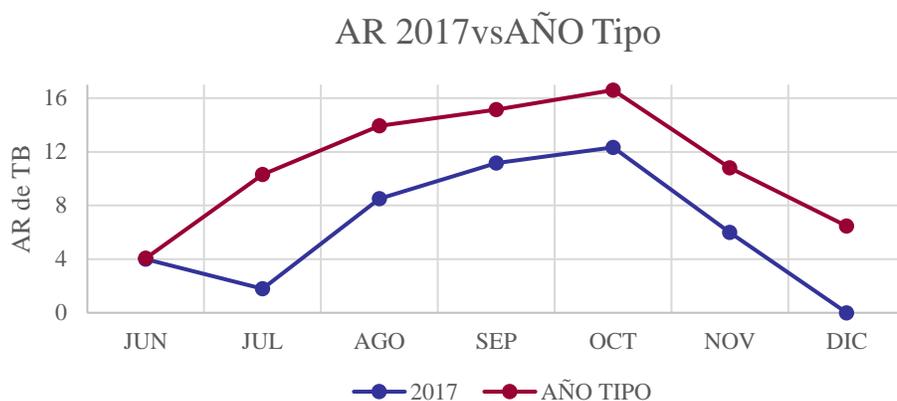


Figura 18. Series temporales de la Abundancia Relativa AR para el periodo de muestreo (específicamente para la SS; línea azul) vs un año tipo (línea roja).

7.8. Correlación entre AR y las diferentes variables medidas

La correlación entre variables oceanográficas medidas y la abundancia relativa de tiburón ballena presentan una relación moderada con la temperatura, densidad, alcalinidad total (para la SS), Carbono inorgánico disuelto (SN), $p\text{CO}_2$ y la UAO (Tabla IV).

Tabla IV. Valores de correlación entre AR y las diferentes variables oceanográficas medidas.

Variable	Correlación de Pearson	
	Sección Norte	Sección Sur
<i>Temperatura</i>	0.50	0.43
<i>Salinidad</i>	0.37	-0.26
<i>Densidad</i>	-0.50	-0.40
<i>pH</i>	0.30	0.42
<i>Alcalinidad total</i>	-0.09	0.64
<i>Carbono inorgánico disuelto</i>	-0.46	0.09
<i>Presión parcial del CO_2</i>	-0.31	-0.46
<i>Saturación de oxígeno</i>	0.03	-0.07
<i>Utilización aparente de oxígeno</i>	0.42	0.52

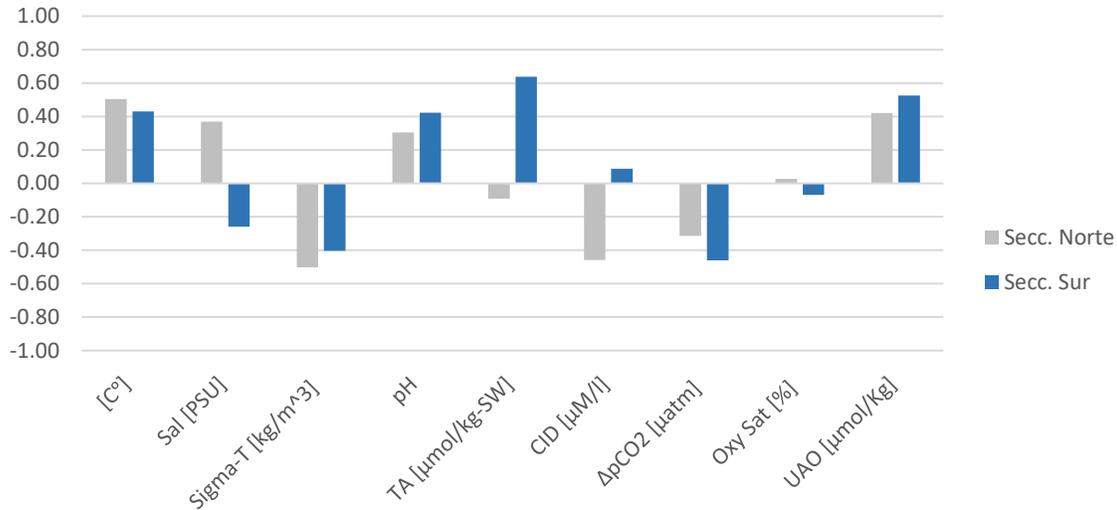


Figura 19. Correlaciones entre variables y la AR del tiburón ballena para la sección norte y sección sur

8. Discusión

Se discutirá de manera individual cada una de las nueve variables medidas para poder describir cómo se presentaron los cambios en cada una de ellas de manera espacial y temporalmente, y de esta manera poder tener un mejor entendimiento de la correlación obtenida para cada variable en referencia al tercer objetivo.

8.1. Temperatura

Los cambios de temperatura superficial durante este periodo de muestreo son comparables con lo reportado en años anteriores (Blanco-Betancourt *et al.*, 2004; Martínez-Díaz de León *et al.*, 2006; Lavaniegos *et al.*, 2012; Hernández-Nava *et al.*, 2013; Martínez-Díaz de León *et al.*, 2013 y Vázquez-Haikin *et al.*, 2015), con un pequeño desfase en el máximo de temperatura el cual ocurrió en el mes de agosto para el presente trabajo y en el mes de septiembre para trabajos anteriores.

Debido a la transición primavera – otoño, referente al modelo de circulación definido por Buenrostro y colaboradores (1991), y sumado con los cambios en la dirección del viento y con una menor intensidad (Fig. 2), anulando o disminuyendo así el movimiento de corrientes costeras, es por lo que se sugiere una estacionalidad en el agua superficial durante este periodo,

razón por la cual se observa este calentamiento máximo de las aguas superficiales en la SS de la bahía durante el mes de agosto.

Se sabe por conocimiento empírico, así como por conocimiento científico que las temperaturas altas entre 20 – 30 °C preceden a la presencia de *R. typus*. En el presente trabajo los avistamientos de la especie fueron constantes con temperaturas superficiales de entre 20 y 30 °C durante su presencia en la bahía con valores que coinciden dentro de lo reportado en agregaciones para el caribe mexicano ($26 < T < 30$ °C; Cárdenas-Palomo, 2009) y para la costa de Japón ($21 < T < 25$ °C; Iwasaki, 1969). Además, los resultados preliminares del proyecto de conservación y aprovechamiento sustentable del tiburón ballena (García-García, 2002) indican que en BLA en conjunto con la disminución de temperatura en el mes de diciembre, se presenta una disminución drástica en los avistamientos de la especie, mismo caso ocurrido en el presente trabajo cuando las temperaturas superficiales disminuyeron a un mínimo de 19 °C.

8.2. Salinidad

Los valores de salinidad se mantuvieron en un rango dentro de los reportados por Hernández-Ayón (2013) para el CB y difieren un poco con respecto a lo reportado por Vázquez-Haikin y colaboradores en 2015 dentro de la bahía. Presentando una disminución promedio en julio y agosto y un aumento hacia el mes de septiembre y posteriormente una disminución a partir del mes de octubre. Esta diferencia entre ambos periodos puede deberse a la evaporación del agua superficial durante el verano. En el mes de julio se encontraron valores bajos de salinidad (comparado con los valores de junio), lo cual coincide con la entrada de aguas frías desde el norte de la bahía y con bajas salinidad y transportando estas aguas hacia el sur de la bahía para la temporada cálida con referencia al modelo de circulación costera reportado por Buenrostro y colaboradores (1991). Lo cual remarca la importancia de los patrones de circulación locales en BLA, entendiéndose como aquellos procesos físicos que modifican el tiempo de residencia del agua de mar en ciertas zonas en BLA, como la zona sur en el presente trabajo.

La salinidad presentó una drástica disminución en el mes de octubre, asociado a una masa de agua ajena a BLA (lo cual se discutirá más adelante), con valores que llegaron hasta 33.9 ± 0.17 , sin embargo, estos valores no coinciden con lo reportado por Hernández-Ayón y colaboradores en 2013 para el ASsSt (35.05 ± 0.03). Dicha agua pudiera entrar a la bahía a través del acuífero

presente en el poblado de BLA. A pesar de este evento la AR de la especie se mantuvo en aumento e incluso llegó al máximo de abundancia (Fig. 18).

Los valores mayores de AR del tiburón ballena se mantuvieron presentes con valores de salinidad entre 34.6 y 35.0, sin embargo, no coinciden con los valores reportados para el caribe mexicano (Cárdenas-Palomo, 2009) o para la costa de Japón (Iwasaki, 1969).

8.3. pH

Los valores de pH coinciden con lo reportado para la RGI (~7.7) por Hernández-Ayón y colaboradores en 2007, pero difieren con los altos valores ($8.25 < \text{pH} < 8.35$) reportado en 2015 por Vázquez-Haikin y colaboradores para BLA, probablemente debido a los diferentes métodos empleados para ambos estudios. Durante los meses de verano no se presentó muchos cambios temporales o espaciales, pero durante el otoño el pH comienza a disminuir hasta llegar al mínimo entrando el invierno.

8.4. Gases disueltos

Con respecto a los gases disueltos en el agua superficial, presentaron un comportamiento inverso a la temperatura, como era de esperarse, debido las condiciones que rige la temperatura sobre la química de estas variables. Sin embargo, ocurrió un evento en el mes de octubre presentando anomalías de salinidad, CID, y AT, lo cual sugiere la posible entrada del ASsSt a la bahía generado por las corrientes de mareas del CB durante el mes de octubre al coincidir en valor con las mediciones durante el presente trabajo.

8.4.1. CID

En el mes de junio en la parte norte de la bahía se encontraron valores altos, cercanos a $2130 \mu\text{mol kg}^{-1}$ posiblemente debido a la entrada del agua fría del CB (el cual presenta altas concentraciones $\sim 2115 \mu\text{mol kg}^{-1}$ Hernández-Ayón, *et al.* en 2007). Una posible explicación a este patrón temporal es que conforme estas aguas son transportadas hacia el sur durante la transición verano – otoño por las corrientes costeras, (Buenrostro *et al.*, 1991) y aunado con el efecto de los vientos débiles del verano, provocan una estacionalidad de las aguas y vientos intensos hacía el otoño, lo cual genera las corrientes costeras en dirección hacia el sur, distribuyendo así, las aguas de la bahía y comienzan a cargarse de CID.

Los altos valores del CID en el mes de octubre coinciden con la concentración valorada para el ASsSt reportado por Hernández-Ayón y colaboradores en 2007, por lo que se sugiere que en este mes hubo una entrada del ASsSt cuando comienza a aumentar en volumen, alcanzando la profundidad máxima de la bahía (~ 60 m). El ASsSt logra entrar a BLA posiblemente debido a: 1) los eventos provocados por las corrientes de mareas, los cuales están influenciados por la surgencia semipermanente en el CB, y 2) los vientos dominantes durante la transición de la temporada cálida hacia la temporada fría, que transportan las aguas del CB hacia dentro de BLA, (batimetría relativamente somera) provocando la entrada del ASsSt a través de los canales entre islas de la SN. Lo anterior, pudiera ser la respuesta a la variabilidad de la agregación al observar la correlación negativa observada para la AR de *R. typus* con las variables como el CID y $p\text{CO}_2$.

La SN presentó concentraciones mayores de carbono que la SS, pero no se observa este patrón en la AR de la especie. Siguiendo lo reportado por Buenrostro y colaboradores (1991), estas aguas con alto carbono en la SN deberían ser transportadas hacia el sur por la circulación costera, disminuyendo la concentración de carbono debido al consumo por parte del fitoplanctónico, mostrando un distinto patrón espacial en donde la SS presenta una concentración menor de CID y con una AR mayor.

8.4.2. Oxígeno disuelto

Las diferentes locaciones de las agregaciones de tiburón ballena parecen estar gobernadas por tiempos y localizaciones de pulsos productivos, y por ende, a una respuesta en comportamiento respiratorio (Colman, 1997).

La solubilidad teórica se ve afectada por la temperatura y salinidad, donde en este caso la temperatura es el factor determinante, ya que la variación de salinidad no fue considerable a los cambios de solubilidad.

Se pudo observar una mayor producción de oxígeno durante los meses de junio a agosto (temporada cálida), por lo que es evidente encontrar valores altos de saturación de oxígeno, lo que sugiere una mayor producción de O_2 en respuesta al aumento de la productividad primaria (Anexo I; Fig. 21). Lo anterior se observa como un aumento durante los eventos de surgencia en el CB, los cuales mezclan el ASsSt con agua superficial (i.e., agua del Golfo de California), en respuesta a procesos de fotosíntesis, promovidos por el aporte de nutrientes, condiciones que

aprovechan los productores primarios. Este proceso se observa durante la transición de invierno a primavera abasteciendo así a Bahía de Los Ángeles con esta alta producción para el verano. Razón por la cual el oxígeno se mantuvo por encima de los valores de saturación durante estos meses.

Los valores reportados en este trabajo coinciden dentro del rango de saturación de oxígeno preferente para la especie sugerido por Cárdenas-Palomo y colaboradores (2009) para el Caribe mexicano (120 – 140 %). Además de esto, la AR llegó a 0 individuos una vez que la saturación de oxígeno disminuyó al mínimo 99.06 % en el mes de diciembre. Blanco-Betancourt y colaboradores (2004), generaron una serie de tiempo anual de temperatura para BLA, en donde reportan que la temperatura de la bahía disminuye hasta un mínimo ~ 16 °C y en respuesta a esta disminución, una menor saturación, pudiendo llegar hasta un déficit de oxígeno (~ 40 %) lo que puede observarse con la línea de tendencia en temperatura. Esto podría traducirse en condiciones de saturación de oxígeno hacia un mayor consumo por procesos de respiración (Colman, 1997).

Con respecto a la concentración mensual de Clorofila-a (Fig. 20a) -es necesario mencionar que esta variable no fue parte de la toma de muestras, pero se realizó un análisis de imágenes de satélite para poder inferir en las condiciones de saturación de oxígeno- se puede observar que existen dos picos de máxima concentración de Chl-a a lo largo de cada año, el primero, puede ocurrir por el enriquecimiento de nutrientes debido a la surgencia semipermanente del CB, durante la transición invierno-primavera, y el segundo florecimiento que ocurre a finales de año, durante la transición otoño - invierno. Al observar estos florecimientos podemos responder a los valores altos en saturación al inicio de la temporada cálida y de agregación de tiburón ballena.

Se pudo observar una diferencia temporal en la UAO para la SS y una mayor variación en la SN con valores altos y negativos ($-120 \mu\text{mol kg}^{-1}$) a inicios del verano, y comienza a aumentar hacia valores menos negativos en el invierno en la SS ($-20 \mu\text{mol kg}^{-1}$) y positivos en la SN ($+25 \mu\text{mol kg}^{-1}$). Esto indica que se presentan subregiones dentro de la bahía, donde los valores positivos en la SN nos hablan de una dominancia en la producción de oxígeno, lo que se esperaría con las condiciones de temperatura y salinidad encontradas. La SS, donde la entrada del oxígeno al sistema aún es mayor a la salida, puede indicar que esta región responde a la correlación moderada y positiva entre la AR de *R. typus* y la UAO. La correlación positivamente moderada de la UAO sugiere que, al formarse esta subregión con una mayor presencia de O_2 en la SS, la

AR de tiburón ballena comienza a aumentar, tanto en la SUP-TB como en la zona propuesta para la ampliación.

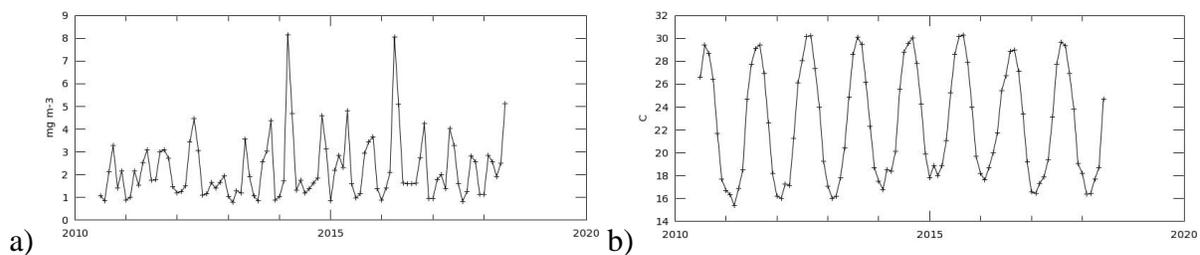


Figura 20. Series de tiempo derivadas de satélite entre julio de 2010 a diciembre de 2018 para la zona aledaña a BLA (Salsipuedes). El título de cada gráfico describe el área (y resolución espacial) utilizada para generar las series de tiempo. En a) se muestra la concentración promedio mensual de Clorofila-a, y en b) se muestra el promedio de la temperatura superficial mensual.

La correlación entre la AR y la temperatura positiva encontrada en este estudio ($r = 0.43$) para la SS, es similar a lo reportado por Vázquez-Haikin y colaboradores en 2015 para esta misma sección de la bahía. El hecho de que en ambas temporadas (2015 vs 2017) la correlación presente valores muy similares, sugiere que la AR está relacionada con la temperatura, y en donde pudiera ser un indicador de que esta variable es un factor que precede a la abundancia planctónica, y la consecuente presencia de la especie en la zona.

En comparación con otros años, la correlación negativa de $r = -0.26$ para la SS y la AR con respecto a la salinidad y $r = 0.42$ en la SS para el pH, contrasta con lo reportado por Vázquez-Haikin y colaboradores en 2015, lo cual sugiere que, tanto la salinidad como el pH, no son factores determinantes para la presencia de la especie.

La correlación negativa encontrada entre la $p\text{CO}_2$ y la AR ($r = -0.46$) para la SS, sugiere que, a medida que aumenta la presión parcial del CO_2 , la AR de tiburón ballena tiende a disminuir. Mientras que la UAO, al tener una correlación positiva con la AR ($r = 0.50$) en la SS, sugiere que a medida que esta variable comienza a aumentar, relacionado con una menor producción de O_2 , la abundancia relativa del tiburón ballena tiende a disminuir.

Mientras que, las variables de CID y la saturación de oxígeno presentaron una correlación baja con la AR ($r = 0.09$ y $r = -0.07$, respectivamente) se puede inferir que estas variables no son un factor determinante para la presencia de tiburón ballena.

Con respecto al comportamiento del agua dentro de la bahía, se puede observar que durante eventos de marea alta (Anexo I, Fig. 22), es cuando entra lo que pudiera ser agua sub superficial, caracterizada por una menor saturación de oxígeno, y lo contrario ocurre durante las mareas muertas, posiblemente resultado de la acumulación de la señal de procesos de respiración de la materia orgánica dentro de la bahía (Anexo I, Fig. 21).

Por otra parte, durante mareas vivas se observó un ligero aumento de CID, pero por el movimiento del agua sub superficial (cargada en dióxido de carbono) hacia la superficie y aunado con las corrientes costeras, esta agua es empujada hacia dentro de la bahía. Sin embargo, este proceso nunca fue tan evidente como el evento que ocurrió en el mes de octubre. Esta entrada de agua sub superficial, coincidió con una disminución en la salinidad y un aumento la AT y el CID, las condiciones de la bahía se mantuvieron de esta manera hasta la siguiente marea viva.

Posteriormente se presentó un evento muy similar en el mes de diciembre, con un aumento del el CID, pero en esta ocasión con una disminución drástica en el pH acompañado de un aumento en la $p\text{CO}_2$ y un ligero aumento en los valores de UAO, cambiando así las condiciones oceanográficas de la bahía para la temporada fría.

En lo reportado con respecto a las condiciones de UAO por Camiro-Vargas en 2004 para el Canal de Ballenas, utiliza esta variable como una medida temporal para los tiempos de residencia. Reporta que las aguas profundas en el CB contienen valores altos y positivos de UAO, y que al ser transportada hacia la superficie por la intensa mezcla vertical, es que pueden encontrarse estos altos valores en la superficie. De esta manera sugiere que, al encontrar valores altos de UAO pudiera corresponder a desplazamientos en la vertical del ASsSt dentro del CB, por lo tanto, poco tiempo de residencia, mientras que, al encontrar valores menores y negativos, un mayor tiempo de residencia.

En el presente trabajo se encontraron valores negativos de UAO durante los primeros meses de muestreo (junio a noviembre) en toda la superficie de BLA, y considerando que la SS presentó valores menores que en la SN sugiere un mayor tiempo de residencia del agua de mar en esta sección. Esto es, si la SS tiene un mayor tiempo de residencia, puede estar manteniendo las condiciones favorables para promover la presencia del TB.

Entrando la temporada fría, en diciembre, los valores de UAO comienzan a aumentar, lo que sugiere un menor tiempo de residencia, junto con el hecho de que vuelve a comenzar el reaprovisionamiento de aguas profundas hacia la superficie en el CB, promoviendo un patrón estacional de esta variable.

9. Conclusiones

Las condiciones oceanográficas químicas de Bahía de Los Ángeles presentaron un cambio notorio a lo largo del periodo de estudio entre el verano (junio) y la transición de otoño-invierno (diciembre), y en respuesta a estos cambios, se observó una variación en la abundancia relativa del tiburón ballena en la bahía.

Al contrastar el valor de correlación positiva de $r = 0.42$ del pH encontrada en el presente trabajo, con lo reportado por Vázquez-Haikin en 2015 de $r = -10$, sugiere que, el pH no puede considerarse como una variable determinante para la favorecer la temporada de agregación de tiburón ballena.

Los valores altos y positivos de la $p\text{CO}_2$ en la temporada fría y una alta sobresaturación de oxígeno durante la temporada cálida, así como también la diferencia entre la sección norte y la sección sur de la bahía con respecto a estas variables, nos hablan de una pequeña regionalización con respecto a estos gases en ambas temporadas, por lo que BLA puede estar actuando como una potencial fuente de O_2 durante la temporada cálida y posteriormente como una potencial fuente más intensa de CO_2 hacia la atmósfera durante la temporada fría.

Se encontró una relación negativa entre la AR y la $p\text{CO}_2$, ya que cuando los valores de esta variable se mantienen bajos, la AR de tiburón ballena tiende a aumentar, especialmente durante la temporada cálida, mientras que, en la temporada fría, los valores de esta variable aumentan drásticamente y se observa una disminución de la AR.

De igual manera para las condiciones del sistema del carbono, se nota una clara diferencia entre ambas secciones de la bahía, con valores mayores de $p\text{CO}_2$ y CID para la SN, y menor AR de la especie, en comparación a la SS. Al observar una correlación negativa con esta variable, es que a medida que aumenta las condiciones de CO_2 disminuye la AR de tiburón ballena. Lo cual sugiere que la SS, incluyendo la zona propuesta para la ampliación de la SUP-TB, cumple en

parte con mejores condiciones oceanográficas, al haber una menor presencia de este gas, que pudiera inferir en la agregación de la especie.

Con respecto a la correlación positiva de la UAO con la AR durante la temporada cálida, sugiere que existe una relación con la regionalización dentro de la bahía. Mientras que al disminuir durante la temporada fría (debido al consumo de oxígeno por procesos de respiración y el pastoreo por parte del zooplancton que disminuye la abundancia de clorofila) la AR comienza a disminuir, indicando que la población abandona la bahía.

En general, se presenta una sobresaturación de oxígeno durante todo el periodo de muestreo, pero con una mayor saturación en la SS, por lo que se puede sugerir que BLA tiene una capacidad para satisfacer las necesidades respiratorias del tiburón ballena durante su temporada de agregación (110 – 150 %, temporada cálida) incluyendo así la zona propuesta para la ampliación de la SUP-TB.

En general, la disponibilidad del hábitat es considerada una limitante para la distribución y abundancia de los organismos, aunado a esto, los sitios de importancia crítica para la especie (incluyendo los sitios de reproducción y crianza, aún desconocidos) como las zonas costeras con condiciones oceanográficas que favorecen eventos de abundancia en alimento para la especie son los sitios en donde es necesario preservar el hábitat para la conservación de *Rhincodon typus* como es el caso de Bahía de Los Ángeles Ens. BC, y la zona propuesta para la ampliación de la Subzona de Uso Público-Tiburón Ballena.

Debido a que la abundancia relativa de tiburón ballena se consideró atípica para el presente trabajo, en comparación al promedio de la agregación para un año tipo, se sugiere un constante monitoreo en este campo de estudio debido a la falta de información para la zona. Un mayor esfuerzo orientado en caracterizar la relación entre la AR de la especie y condiciones ambientales podría ayudar a emplear o definir a la abundancia del tiburón ballena como un indicador biológico de la salud del ecosistema. Incluso, pudiendo recrear los resultados para el resto de los sitios de agregación dentro del Mar de Cortes.

Anexo I

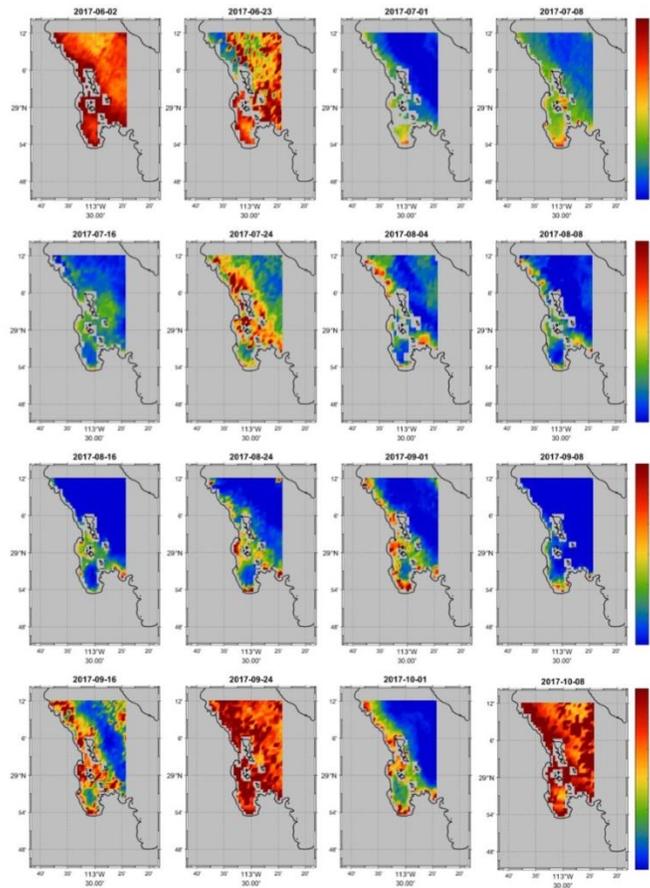


Figura 21. Distribución espacial de la Clorofila-a (mg m^{-3}) en el Canal de Ballenas y Bahía de Los Ángeles para el día anterior de cada periodo de muestreo.

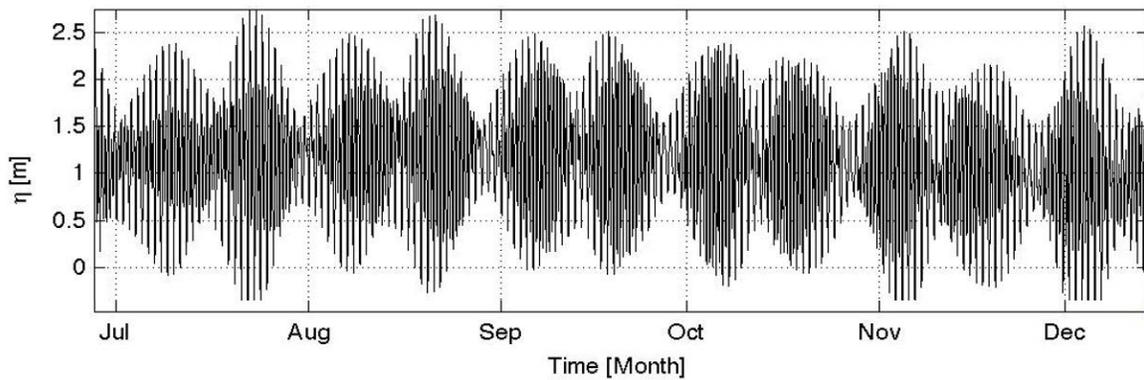


Figura 22. Grafica de la altura (m) de la onda de marea durante el periodo de muestreo.

10. Referencias

- Álvarez-Borrego, S., Rivera, J. A., Gaxiola-Castro, G., Acosta-Ruiz, M. J., Schwartzlose, R. A. (1978). *Nutrientes en el Golfo de California*. Rev. Cienc. Mar. 5: 21-36.
- Argote-Espinoza, M. L., Lavín, M. F. (1995). *Tidal dissipation and stratification in the Gulf of California*. J. Geophys. Res. 100(C8): 16103-16118.
- Arzoumanian, Z., Holmberg, J., y Norman, B. (2005). An astronomical pattern-matching algorithm for computer-aided identification of whale sharks *Rhincodon typus*. Journal of Applied Ecology. 42 (6), 999-1011.
- Ávila-Moreno, B. (2005). *Una contribución al conocimiento de la biología, comportamiento y hábitat de las congregaciones de tiburón ballena Rhincodon typus (Smith, 1828) de Bahía de los Ángeles, Baja California, México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 53.
- Ayala-Sánchez, N. E., Michel-Sánchez, R. D. (1980). *Relación entre abundancia, distribución de plancton y el comportamiento de parámetros hidrológicos en Bahía de los Ángeles, B. C.* Segundo Simposio Latinoamericano de Acuicultura., Tomo 1: 393-446.
- Badan-Dangon, A., Dorman, C. E., Merrifield, M. A., Winant C. D. (1991). *The lower atmosphere over the Gulf of California*. J. Geophys. Res., 96, 15, 877-16,896.
- Blanco-Betancourt, R., Pacheco-Ruíz, I., Guzmán-Calderón, J. M., Zertuche-González, J. A., Chee-Barragán, A., Martínez-Díaz de León, A., Galván-Téllez, A., López-Vivas, J. M. (2004). *Base de datos de la temperatura del agua de mar en seis bahías de la costa noroccidental del Golfo de California, México*. Reporte Técnico 2004 (1): 1-35. URL: http://rcmarinas.ens.uabc.mx/~cmarinas/reportes/reportes_tecnico_2004-1.pdf
- Buenrostro, A., Serrano, S., Argote-Espinoza, M. (1991). *Modelo numérico de la circulación inducida por el viento en Bahía de los Ángeles, B. C. México*. Rev. Cienc. Mar. 17(3): 39-57.
- Bustos-Serrano, H. (2016). *Manual de prácticas de Oceanografía química*. (Bustos-Serrano H. Editor), Vol. 1 UABC-FCM-Press. Ensenada. 143.
- Camiro-Vargas, T. K. (2004). *El Sistema del Carbono en la Región de las Grandes Islas en el Golfo de California*. Tesis de Maestría. Instituto de Investigaciones Oceanográficas. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 67-90

- Canino-Herrera, S. R. (1989). *Variabilidad de productividad primaria, seston y clorofila en Bahía de los Ángeles B.C., verano, 1986*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 51.
- Cárdenas-Palomo, N., Herrera-Silveira, J. y Reyes, O. (2009). Distribución espacio-temporal de variables fisicoquímicas y biológicas en el hábitat del tiburón ballena *Rhincodon typus* (Orectolobiformes: Rhincodontidae) al norte del Caribe Mexicano. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 58 (1): 399-412.
- Cárdenas-Torres, N., Herrera, J., Reyes, O. (2009). *Distribución espacio-temporal de variables fisicoquímicas y biológicas en el hábitat del tiburón ballena Rhincodon typus (Orectolobiformes: Rhincodontidae) al norte del Caribe Mexicano*. *Rev. Biol. Trop.* 58 (1): 403-404. Epub 2010.
- Castro-Montoya, H. D. (1988). *Variabilidad de nutrientes en la ensenada norte de Bahía de los Ángeles, B.C. (verano de 1986)*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 44.
- Clark, E., Nelson, D. (1997). *Young whale shark, Rhincodon typus, feeding on a copepod bloom near La Paz, Mexico*. *Environmental Biology of Fishes.* 50 (1), 63-73.
- Clark, A. (2004). Is there a Universal Temperature Dependence of metabolism? *Functional Ecology*, 18, 252-256.
- Clayton, T. D., Byrne, R. H. (1993). *Spectrophotometric seawater pH measurements: total hydrogen results*. *Deep-Sea Research*, 40(10), 2115-2129.
- Colman, J. G. (1997). *A review of the biology and ecology of the whale shark*. *Journal of Fish Biology*. Vol. 51, 1219-1234.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (2017). *Informe de condición y ficha de evaluación ecológica 2016: Reserva de la Biosfera Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes; área de protección flora y fauna islas del Golfo de California en Baja California; y parque nacional zona marina archipiélago de San Lorenzo*. Informe final para la ANP.
- Daerden, P., Topelko, K. N., Ziegler, J. (2008). *Tourism interactions with sharks*. En: Highman, J. and Lück M. (Eds.). *Marines Wildlife and Tourism Management*. CABI, Wallingford, UK. 66-90.

- Danemann. (2004). *Propuesta para la creación del parque nacional "Bahía de los Ángeles, Baja California"*. Tesina como requisito para obtener el diploma de la Especialidad de Administración de Recursos Marinos. Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, B. C. 144.
- Delgadillo-Hinojosa, F., Macias-Zamora, J. V., Segovia-Zavala, J. A., Torres-Valdés, S. (2001). *Cadmium enrichment in the Gulf of California*. Mar. Chem. 75: 109-122.
- Díaz-de-León, A., Pacheco-Ruiz, I., Delgadillo-Hinojosa, F., Zertuche-González, J. A., Chee-Barragán, A., Blanco-Betancourt, R., Guzmán-Calderón, J. M., Gálvez-Telles, A. (2006). *Spatial and temporal variability of the sea Surface temperatura in the Ballenas-Salsipuedes Channel (central Gulf of California)*. Journal of Geophysical, Vol. 111, C02008. 1-7.
- Dickson, A. G., Sabine, C. L., Christian, J. R. (2007). *Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements*, PICES Special Publication.
- DOF. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestre-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. SEMARNAT. Diario Oficial de la Federación.
- Douglas, N. K., Byrne, R. H. (2007). *Achieving accurate spectrophotometric pH measurements using unpurified meta-cresol purple*. Marine Chemistry, 190, 66-72. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marchem.2017.02.004>.
- Durand-Sarmiento, L. F. (1989). *Variabilidad de nitratos, nitritos y amonio en la ensenada norte de Bahía de los Ángeles, B.C. en condiciones de invierno*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 40.
- Enríquez-Andrade, R. R., Rodríguez-Dowdell, N., Zavala-González, A., Cárdenas-Torres, N. Vázquez-Haikin, A., Godínez-Reyes, C. (2003). *Conservación y Aprovechamiento Sustentable del Tiburón Ballena a través del Ecoturismo en Bahía de los Ángeles, B. C. (Informe Técnico)*. UABC-Dirección Regional en Baja California del APFF Islas del Golfo de California, 100.
- Fasham, J. R. (2003). Ocean Biogeochemistry *The role of the Ocean Carbon Cycle in Global Change*. Springer. 123-141.

- García-García, B. M. (2002). *Relación entre la biomasa zooplanctónica y los avistamientos de tiburón ballena (Rhincodon typus; Smith, 1828) en Bahía de los Ángeles, B. C. México*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 50.
- Gaxiola-Castro, G., Álvarez-Borrego, S., Schwartzlose, R. A. (1978). *Sistema del bióxido de carbono en el Golfo de California*. Rev. Cienc. Mar. 5(2): 25-40.
- Gómez-Hernández, S. P., Enríquez-Andrade, R. R. (2011). Análisis FODA del Marco Normativo y Administrativo en el manejo del Tiburón Ballena en Bahía de los Ángeles, México. Tesis de especialidad en Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. 25-28.
- Hernández-Nava, M. F., Álvarez-Borrego, S. (2013). *Zooplankton en un área de alimentación del tiburón ballena (Rhincodon typus) en la Bahía de los Ángeles (Golfo de California)*. Hidrobiología, 23(2): 198-208.
- Hernández-Ayón, J. M., Delgadillo-Hinojosa, F., Camiro-Vargas, F., López-Mariscal, M. (2007). *Estudios de las variables del CO₂ en la región de las grandes islas en el golfo de California en condiciones de invierno*. Capítulo IV. CO₂ en aguas costeras y lacustres. In; Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México. Instituto Nacional de Ecología y Centro de Investigación y de Educación Superior de Ensenada. ISBN: 978-968-817-855-3.
- Hernández-Ayón, J. M., Chapa-Balcorta, C., Delgadillo-Hinojosa, F., Camacho-Ibar, V. F., Huerta-Díaz, M. A., Santamaría-del-Ángel, E., Galindo-Bect, S., Segovia-Zavala, J. A. (2013). *Dinámica del carbono inorgánico disuelto en la región de las grandes islas del golfo de California: Influencia de las masas de agua*. Rev. Cienc. Mar., 39(2): 183-201.
- Heyman, W. D., Graham, T. R., Kjerfve, B., Johannes, R. E. (2001). *Whale sharks Rhincodon typus aggregation to feed on fish spawn in Belize*. Marine Ecology Progress Series. 215, 275-282.
- Hidalgo-González, R. M., Álvarez-Borrego, S., Zirino, A. (1997). *Mixing in the region of the Midriff Island of the Gulf of California: Effect on surface pCO₂*. Rev. Cienc. Mar. 23: 317-327.
- Hidalgo-González, R. M., Álvarez-Borrego, S. (2001). *Chlorophyll profiles and the water column structure in the Gulf of California*. Oceanol. Acta 24: 19-28.

- Ibarra-Sañudo, S. (1988). *Serie de tiempo de variables hidrológicas al norte de Bahía de los Ángeles, B.C. en condiciones de verano*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 39.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información). (1995). *Estudio hidrológico del estado de Baja California*. México. 180.
- Iñiguez, L. (2004). *Análisis de distribución y tamaño de las congregaciones de tiburón ballena (Rhincodon typus) durante la temporada 2003 en Bahía de los Ángeles, B. C.* Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C.
- Iwasaki, Y. (1969). *On the distrution and environment of the whale shark, Rhincodon typus, in skipjack fishing grounds in the western Pacific Ocean*, Journal of the Collage of Marine Science and Technology, Tokai University 4:37-51.
- Lavaniegos, B. E., Heckel, G., Ladrón de Guevara, P. P. (2012). *Variabilidad estacional de copépodos y cladóceros de Bahía de los Ángeles (Golfo de California) e importancia de Acartia Claussi como alimento del tiburón ballena*. Ciencias Marinas. 38 (1A), 11-30.
- Lavín, M. F., Beier, E., Badan, A. (1997). *Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacionales e interanuales*. en Contribuciones a la Oceanografía Física en México, Monografía, vol. 3, 141-171. Edited by M. F. Lavín., Union Geofis. Mex., Ensenada, México.
- López, M., Candela, J., Argote-Espinoza, M. L. (2006). *Why does the Ballenas Channel have the coldest SST in the Gulf of California?* J. Geophys. Res., 33(L11603): 1-5.
- López-Valdez, C. (1989). *Variabilidad hidrológica en Bahía de los Ángeles, B.C. en condiciones de invierno*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 52.
- Martínez-Díaz de León, A., Pacheco-Ruíz, I., Delgadillo-Hinojosa, F., Zertuche-González, J. A., Chee-Barragán, A., Blanco-Betancourt, R., Guzmán-Calderón, J. M., Galván-Téllez, A. (2006). *Spatial and temporal variability of the sea surface temperature in the Ballenas-Salsipuedes Channel (central Gulf of California)*. Journal of Geophysical Research, Vol. 111, C02008. 1-7.
- Martínez-Díaz de León, A., Rubén-Castro, Santamaría del Ángel, E., Pacheco-Ruíz, I., Blanco-Betancourt, R. (2013). *Sea Surface Heat Fluxes and Fortnightly Modulation of*

- the Surface Temperature within the Ballenas Channel, Gulf of California.* Journal of Coastal Research, 29 (6): 1400-1412.
- Merrifield, M. A., Badan-Dangon, A. Winant, C. D. (1978). *Temporal behavior of lower atmospheric variables over the Gulf of California.* A Data Report 1983-1985. SIO Reference Series 87-6,192.
- Molina-Cruz, A. (1984). Radiolaria as indicators of upwelling processes: The Peruvian connection. *Marin Micropaleontology*. Vol. 9 (1): 53-75.
- Morales-Zúñiga. C. (1977). Variaciones estacionales de la temperatura en la Bahía de Todos Santos, B. C. CIENCIAS MARINAS. Vol4. No. 1 pp 23-33.
- Nelson, J. D., Eckert, S. A. (2000). *Local habitat distribution and utilization of whale shark (Rhincodon typus) within Bahía de los Angeles, B. C. Mexico.* American Elasmobranch Society Annual Meeting; Appendix 2. Abstracts and Notes: AES Whale Shark Symposium.
- Nelson, J. D., Eckert, S. A. (2007). *Foraging ecology of whale sharks (Rhincodon typus) within Bahía de los Ángeles, Baja California Norte, México.* Fisheries Research. 84 (1), 47-64.
- Norman, B. (2004). *Review of the current conservation concerns for the whale shark (Rhincodon typus).* Natural Heritage Trust Project No. 2127; Australian Marine Conservation Society, Australia, 74.
- Odum. E. P. and Odum, H. T. (1972). Natural areas as necessary component of man's total environment. *AGRIS*. Vol. 37: 178-189.
- Panden, C. A., Winant, C. D., Abbott, M. R. (1993). *Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California. 2. Surface heat flux.* J. Geophys. Res. 98(C11): 20091-20103.
- PROCODES. (2012). Grupo de Tiburón Ballena. *Acciones de Monitoreo Biológico del Tiburón Ballena (Rhincodon typus) en la Reserva de la Biosfera Bahía de los Ángeles. Temporada 2012.* Informe Técnico.
- PROCODES. (2013). Grupo de Tiburón Ballena. *Acciones de Monitoreo Biológico del Tiburón Ballena (Rhincodon typus) en la Reserva de la Biosfera Bahía de los Ángeles. Temporada 2013.* Informe Técnico.

- PROCOCODES. (2014). Grupo de Tiburón Ballena. *Acciones de Monitoreo Biológico del Tiburón Ballena (Rhincodon typus) en la Reserva de la Biosfera Bahía de los Ángeles. Temporada 2014*. Informe Técnico.
- Robinson, M. K. (1973). *Atlas of monthly mean sea surface and subsurface temperatures in the Gulf of California, Mexico*. San Diego Soc. Nat. Hist., Memoir 5, San Diego: 97.
- Roden, G. I. (1958). *Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California*. J. Phys. Oceanogr., 27,597-614.
- Rodríguez-Dowdell N., Enríquez-Andrade, R., Cárdenas-Torres, N., Zavala-González, A., Vázquez-Haikin, A., Godínez-Reyes, C. (2003). *Propuesta del programa de manejo de tiburón ballena (Rhincodon typus) con referencia específica a Bahía de los Ángeles, Baja California*. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C.; Pew Fellow Program in Marina Conservation. 97.
- Rodríguez-Dowdell N., Enríquez-Andrade, R., Cárdenas-Torres, N. (2008). Capítulo 13 Tiburón Ballena. En Bahía de los Ángeles: Recursos Naturales y Comunidad, Línea base 2007. Pronatura Noroeste AC. 363-383 pp.
- Rowart, D., Brooks, K. (2012). *A review of the biology, fisheries and conservation of the whale shark, Rhincodon typus*. Journal of Fish Biology. 80 (1): 1019-1056.
- Sáenz-Chávez, M., Danemann, G. (2008). *Información Técnica para la elaboración del Programa de Conservación y Manejo de la “Reserva de la Biosfera Bahía de los Ángeles, canales de Ballenas y de Salsipuedes” Baja California*. Documento Técnico no publicado y presentado a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Ensenada, Baja California. 144.
- SEMARNAT-DGVS-CONANP. (2007). Plan de Manejo Tipo para realizar Aprovechamiento No Extractivo del Tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Dirección General de Vida Silvestre (DGVS), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). México. 52 pp.
- Smith, A. (1828). Descriptions of new, or imperfectly known objects of the animal kingdom, found in the south of Africa. South Africa Commercial Advertiser v. 3 (no. 145): 2.
- Soto-Mardones, L., Marinone, S. G., Páres-Sierra, A. (1999). *Variabilidad espaciotemporal de la temperatura superficial del mar en el golfo de California*. Rev. Cienc. Mar. 25: 1-30.

- Tershy, B. R., Álvarez-Borrego, S. (1991). *Increase in cetacean and seabird numbers in the Canal de Ballenas during an El Niño-Southern oscillation event*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 69: 299-302.
- EV Torres-Delgado, F Delgadillo-Hinojosa, VF Camacho-Ibar, MA Huerta-Díaz, JA Segovia-Zavala, JM Hernández-Ayón, S Galindo-Bect (2013). Enriquecimiento invernal de nutrientes inorgánicos (NO₃, PO₄, Si(OH)₄) en la capa superficial del Canal de Ballenas-Salsipuedes en el Golfo de California. No. Especial del Golfo de California. Ciencias Marinas.39 (2): 151-164
- Torres-Valdés, S. (2000). *Distribución espacial y variabilidad temporal de nutrientes en el golfo de California*. Tesis de Maestría en Ciencias, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B. C. 62.
- Torres-Orozco, E. (1993). *Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California*. Tesis de Maestría en Ciencias, CICESE, Ensenada. 79.
- Vázquez-Haikin, A., Peregrin, A., Portillo, C., Sosa, O. (2015). *Reporte final preparado para la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en el marco del Programa de Monitoreo Biológico del ejercicio fiscal 2015*. PRONATURA noroeste ac.
- Wilson, S., Taylor, J., Pearce, A. (2001). *The seasonal aggregation of the whale shark at Ningaloo Reef, Western Australia: currents, migrations and the EL NIÑO/ Southern Oscillation*. Environmental Biology of Fishes. 61: 1-11.
- Williamson, P., Turley, C. and Ostle, . C. (2017). Ocean acidification. Marine Climate Change Impacts Partnership: Science Review. Marine Climate Change Impacts Partnership. doi:10.14465/2017.arc10.001-oac.
- Zirino, A., Hernández-Ayón, J. M., Fuhrman, R. A., Álvarez-Borrego, S., Gaxiola-Castro, G., Lara-Lara, R. Bernstein, R. L. (1997). *Estimate of Surface pCO₂ in the Gulf of California from underway pH measurements and satellite imagery*. Rev. Cienc. Mar. 23: 1-22.