

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN
SUPERIOR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGÍA MARINA**

**Variables físico-biológicas y su relación con la presencia del
tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en Bahía de los Ángeles,
Baja California, México**

Tesis

Para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:

Verónica Morales Sotero

Ensenada, Baja California, México

2015

Tesis defendida por

Verónica Morales Sotero

y aprobada por el Comité

Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Codirector del Comité

M. en C. Vicente Ferreira Bartrina
Codirector del Comité

Dr. Gilberto Gaxiola Castro
Miembro del Comité

Dr. Pedro Negrete Regagnon
Miembro del Comité

Dr. David A. Rivas Camargo
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

Dr. Jesús Favela Vara
Director de Estudios de Posgrado

Junio, 2015

Resumen de tesis que presenta Verónica Morales Sotero, como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

Variables físico-biológicas y su relación con la presencia del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en Bahía de los Ángeles, Baja California, México

Resumen elaborado por:

Verónica Morales Sotero

El tiburón ballena (*Rhincodon typus*) es una especie altamente migratoria con una distribución circumglobal que abarca mares cálidos y templados, presenta zonas de agregación en diferentes partes del mundo incluyendo México. En el Océano Pacífico mexicano y específicamente en el Golfo de California las agregaciones tienen lugar en las costas de San Blas, Bahía de la Paz, Bahía de los Ángeles y Bahía San Luis Gonzaga. Se ha observado que las zonas de agregación son utilizadas por pelágicos mayores como sitios de forrajeo, reproducción, limpieza y/o protección de depredadores; sin embargo, poco es conocido sobre cómo las variables ambientales influyen en las agregaciones de estas especies.

El objetivo del presente estudio fue detectar qué variables ambientales influyen directa e indirectamente en la agregación de *R. typus* en Bahía de los Ángeles. Para ello, se estimó la abundancia relativa de *R. typus* mensual y anual, y se relacionó con los promedios mensuales de las variables: Temperatura Superficial del Mar (TSM), concentración de clorofila, velocidad y dirección del viento, y velocidad y dirección de las corrientes.

Se obtuvieron diferencias significativas en las abundancias relativas mensuales. Posteriormente se utilizó un Modelo Lineal Generalizado (MLG) para relacionar las abundancias relativas mensuales con las variables ambientales. El MLG indicó que la TSM es la variable que explica el 55.8% de la devianza en la abundancia de *R. typus*, con una aparente preferencia a temperaturas entre 22-31°C. A través de las series de tiempo 2009-2013 se detectó que el incremento en las concentraciones de clorofila, previas a la presencia de tiburones y la dirección de las corrientes, posteriores a la agregación, podrían estar influyendo en la permanencia de *R. typus* en la bahía.

R. typus es una especie termorreguladora, que comúnmente es observada en aguas con temperaturas superiores a 18°C. Nuestros datos sugieren que las altas TSM y concentraciones de clorofila presentes en los meses de verano (junio a septiembre) parecen ser condiciones óptimas para los procesos de termorregulación y alimentación de *R. typus* en Bahía de los Ángeles.

Palabras claves: ***Rhincodon typus*, variables ambientales, Bahía de los Ángeles.**

Abstract of the thesis presented by Veronica Morales Sotero as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology.

Physical-biological variables and relationship with the presence of whale shark in Bahía de los Angeles, Baja California, México

Abstract by:

Verónica Morales Sotero

The whale shark (*Rhincodon typus*) is a highly migratory species with a circumglobal distribution that spans warm and temperate seas and presents aggregation areas in different parts of the world, including México. In the Gulf of California, aggregations of *R. typus* have been observed in San Blas, Bahía de la Paz, San Luis Gonzaga y Bahía de los Ángeles. The aggregation areas are used by major pelagics for foraging, reproduction, cleaning and/or protection from predators. However, little is known about how environmental variables influence the aggregations of this species.

The aim of this study was to identify which environmental variables influence, directly and indirectly, the aggregation of *R. typus* in Bahía de los Ángeles. For this, the relative abundance of *R. typus* was estimated by months and years and related to the monthly means of the following variables: Sea Surface Temperature, chlorophyll concentration, speed and wind direction and speed and direction of currents.

Significant differences were found in monthly relative abundances. A Generalized Linear Model (GLM) was used to determine the environmental variables influencing the monthly relative abundance of *R. typus*. The Sea Surface Temperature is the variable that explained 55.8% of the deviance of the relative abundance with a preference for temperatures between 22-31°C. Through the time series of the years 2009-2013, it was found that the increase in the chlorophyll concentrations, prior to the presence of sharks y the direction currents, after aggregation might be influencing the permanence of *R. typus* at bay.

R. typus is a species that needs thermoregulatory processes and is commonly observed in temperatures higher than 18°C. These temperatures allow them to perform their basic biological processes. The Sea Surface Temperatures and the chlorophyll concentrations observed during the summer months (June to September), seem to be the optimal conditions for thermoregulation and feeding of *R. typus* in Bahía de los Angeles.

Keywords: ***Rhincodon typus*, environmental factors, Bahía de los Ángeles.**

Dedicatoria

A mi Madre,

*Por el amor y apoyo incondicional que me ha brindado
el cual, me ha permitido crecer y lograr mis metas*

Gracias por todo, este logro es tuyo.

Agradecimientos

A mi familia, por apoyarme en todas las decisiones que he tomado a lo largo de la vida. Agradezco especialmente a mi mamá, que me ha apodado incondicionalmente, gracias a ella he llegado hasta aquí.

A Fernando Brindis por ayudarme siempre, en las buenas y en las malas; por sacarme una sonrisa en los momentos difíciles, por recordarme que los sueños cuestan pero que se pueden lograr.

Al Dr. Oscar Sosa Nishizaki, por confiar en mí y dejarme ser parte del Laboratorio de Ecología Pesquera. Le agradezco Doc. por la ayuda que me ha brindado, tanto en el ámbito profesional, como personal.

Al M. en C. Vicente Ferreira Bartrina, por todo el tiempo que me dedicó para mejorar este trabajo, por sus aportaciones y enseñanzas. Gracias por enseñarme a pensar y ver más allá de lo visible.

A mi comité de tesis, Dr. Gilberto Gaxiola Castro y Dr. Pedro Negrete Regagnon, que gracias a todos sus comentarios y recomendaciones me ayudaron a enriquecer el presente trabajo.

Al CICESE, por permitirme crecer profesionalmente y brindarme los recursos necesarios para estudiar un posgrado. Agradezco también a los Doctores que forjaron mi educación, en especial a la Dra. Solana por el apoyo humano que nos brinda a todos sus estudiantes.

Al pueblo de México que paga sus impuestos y que a través de CONACYT pude obtener la beca N° 285597, la cual fue mi apoyo de manutención en estos dos años. Como mexicana agradezco de corazón este apoyo y me comprometo a retribuirlo para el mejoramiento de mi país.

A Abraham Vázquez y el grupo comunitario PEJESAPO, por permitirme utilizar sus datos. Gracias Abraham por la confianza depositada en mí, al brindarme los datos que han generado a lo largo de estos años con su arduo trabajo.

Agradezco al Laboratorio de Ecología Pesquera, a Alma, Elea, Laura, Amparo, Emiliano, Erick, Masao, Luz, Tere, Elena, Kena y Carmencita; Por permitirme ser parte de este gran equipo, por las salidas de campo, las reuniones en el lab., las risas, el diálogo constante; pero sobre todo, por el apoyo incondicional que se siente en cada uno de ustedes. Alma, quiero agradecer también por mostrarme tu pasión por el tiburón ballena, fuiste una pieza muy importante para enamorarme de mi trabajo de tesis.

A mis compañeros de generación que fueron mi familia desde el momento que pise CICESE, a Abi, Luz, Karen Faurrieta, Karen local, Celia, Paula y Anto. Gracias los grandes momentos que pasamos juntos.

A mi nuevo equipo de trabajo CONANP, agradezco a la M. en C. Marisol Aguilar Torres, por confiar en mí y darme la oportunidad de formar parte de este equipo. A mis compañeros: Toño, Dona, Ale y Martin que me han hecho sentir parte del grupo y en este corto tiempo hemos forjado un gran amistad. Quiero decirles que gracias a su apoyo he podido culminar este logro. ¡Ahora vamos por muchos más!

A Carmen Maya porque sin conocerme me abrió las puertas de su casa el día que llegue a Ensenada y desde entonces hemos forjado una gran amistad.

A mis amigos de toda la vida Nadia, Beto, Diana, Pancho, Beu Ribe y Victoria Holguin, que siempre han estado al pendiente de mí y son uno de mis pilares.

¡Gracias a todos, sin ustedes esto no hubiera sido posible!

Tabla de contenido

	Página
Resumen español	ii
Resumen inglés	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xi
1. Introducción	1
1.1 Biología de tiburón ballena (<i>Rhincodon typus</i> ; Smith, 1828).....	3
1.2 Antecedentes.....	5
1.3 Justificación.....	7
2. Objetivos	8
2.1 Objetivo general.....	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
2.3 Hipótesis.....	8
3. Metodología	9
3.1 Área de estudio: Golfo de California.....	9
3.2 Variables ambientales y base de datos.....	11
3.3 Sitios de muestreo del Golfo de California.....	14
3.5 Abundancia Relativa de <i>R. typus</i> y su relación con las variables ambientales.....	17
3.5.1 Comprobación de supuestos del Modelo Lineal Generalizado.....	18
4. Resultados	20
4.1 Abundancia relativa de <i>R. typus</i> en Bahía de los Ángeles.....	20
4.2 Velocidad y dirección del viento.....	22
4.3 Temperatura Superficial del Mar (TSM).....	23
4.4 Velocidad y dirección de corrientes.....	27
4.5 Concentración de Clorofila.....	28
4.6 Variables ambientales y su relación con la abundancia relativa de <i>R. typus</i>	32
4.7 Concentración de clorofila y corrientes, como influyen en la AR de <i>R. typus</i>	34

Tabla de contenido (continuación)

5. Discusión	36
5.1 Variación anual del Golfo de California.....	36
5.1.1 Concentración de clorofila en el Golfo de California.....	38
5.2 Variables ambientales y abundancia relativa de <i>R. typus</i> en Bahía de los Ángeles.....	39
5.3 Concentraciones de clorofila y abundancia relativa de <i>R. typus</i>	43
6. Conclusiones y recomendaciones	45
Lista de referencias	47
Anexos	54

Lista de figuras

Figura	Página
1	Distribución mundial de <i>R. typus</i> indicada con fondo azul (Compango, 2001) y zonas de agregación marcadas con estrellas verdes (basado en Sequeira <i>et al.</i> , 2013)..... 1
2	Zonas y temporadas de agregación de <i>R. typus</i> en el Golfo de California. Con estrellas verdes se indican las agregaciones de machos juveniles principalmente (4-7 m Longitud Total) y con estrellas amarillas las agregaciones de hembras adultas (9-13 m Longitud Total) principalmente. En los sitios: San Luis Gonzaga (SLG), Bahía de los Ángeles (BLA), Bahía de la Paz (BLP), San Blas (SB), Banca Gorda (BG) e Isla Espíritu Santo (IES)..... 2
3	Fisiología del tiburón ballena (<i>Rhincodon typus</i>)..... 3
4	Macro localización del Golfo de California..... 9
5	Procesos involucrados en la obtención de información a través de sensores remotos. recurso de energía o iluminación (A), radiación y atmosfera (B), interacción con el objeto (C), reconocimiento de energía por el sensor (D), transmisión, recepción y procesamiento de datos (E), interpretación y análisis (F) y aplicación (G)..... 11
6	Ubicación de los sitios de muestreo en el Golfo de California..... 15
7	Análisis ANOVA de una vía A) Análisis ANOVA entre abundancia relativa mensual de enero-diciembre, indicados con números del 1 al 12. B) Análisis ANOVA de la abundancia relativa anual de los años 2009-2013..... 17
8	Comprobación de supuestos de residuales para el modelo general lineal A) Normalidad de residuales B) Aleatoriedad de residuales..... 19
9	Abundancia Relativa mensual de <i>R. typus</i> en Bahía de los Ángeles del periodo 2009-2013..... 20
10	Variación del promedio mensual de la Temperatura Superficial del Mar en los sitios del Golfo de California..... 24
11	Imágenes satelitales de la TSM mensual del Golfo de California en el año 2013, caracterizado como “Normal” ($\leq \pm 0.05^\circ\text{C}$) por la NOAA para la región del Pacífico Oriental (Fuente: OceanColorWEB)..... 25

Lista de figuras (continuación)

12	Dirección de las corrientes superficiales A) diciembre a marzo B) junio a septiembre (Tomado de Lavín <i>et al.</i> , 2014).....	27
13	Valores del promedio mensual de la concentración de clorofila en los sitios de muestreo	29
14	Imágenes satelitales de la concentración de clorofila mensual del Golfo de California año 2013, caracterizado como “Normal” ($\leq \pm 0.05^\circ\text{C}$) por la NOAA, para la región del Pacífico Oriental (Fuente: OceanColorWEB).....	30
15	Serie de tiempo de la TSM y la Abundancia Relativa mensual de <i>R. typus</i> en Bahía de los Ángeles, periodo 2009-2013.....	33
16	Serie de tiempo de la concentración de clorofila y la Abundancia Relativa mensual de <i>R. typus</i> en Bahía de los Ángeles en el periodo 2009-2013.....	34
17	Ciclo anual de la dirección y velocidad de las corrientes geostróficas en el Canal de Ballenas del periodo 2009-2013. La línea negra indica la velocidad promedio de cada mes a lo largo del año. Los meses en fondo blanco son la temporada de presencia de <i>R. typus</i> y el fondo gris es la temporada de ausencia.....	35

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Parámetros ambientales con unidades, nombre del sensor obtenido, tamaño de pixel y periodos de la información utilizada.....	12
2	Promedio mensual de la abundancia relativa (individuos observados /hora) de <i>R. typus</i> con desviación estándar, valor mínimo y máximo.....	21
3	Promedio anual de la abundancia relativa de <i>R. typus</i> con desviación estándar, valor mínimo y máximo.....	22
4	Promedio mensual de la velocidad (m/s) y dirección del viento, con valores mínimos, máximos y promedio.....	22
5	Promedio mensual de TSM (°C) con valor mensual mínimo, máximo y promedio del periodo 2009-2013.....	23
6	Promedio mensual de la velocidad y dirección (DIR.) de las corrientes del Golfo de California (cm/s), con valores de mínimo y máximo mensual, promedio y desviación estándar de cada sitio.....	28
7	Promedio mensual de la concentración de clorofila, con valor mínimo, máximo y promedio del periodo 2009-2013.....	29
8	Análisis de correlación entre las variables ambientales del Canal de Ballenas.....	32
9	Modelo Lineal Generalizado de AR de <i>R. typus</i> y TSM, concentración de clorofila, dirección y velocidad de la corriente.....	33

1. Introducción

El tiburón ballena (*Rhincodon typus*; Smith, 1828) es una especie altamente migratoria, con una distribución circumglobal que se extiende entre los 30°N y 30°S; abarcando los mares cálidos y templados del mundo (Figura 1; Compagno, 2001). A lo largo de su distribución se han documentado diversas zonas de agregación, las más estudiadas se encuentran en Australia, Nueva Zelanda, Japón, Taiwán, Filipinas, Tailandia, Seychelles, Mozambique, Madagascar, Sudáfrica, Belice, Honduras y México (Compagno, 1984; Theberge y Dearden, 2006; Hueter *et al.*, 2007; Rowat *et al.*, 2009; Sequeira *et al.*, 2013).

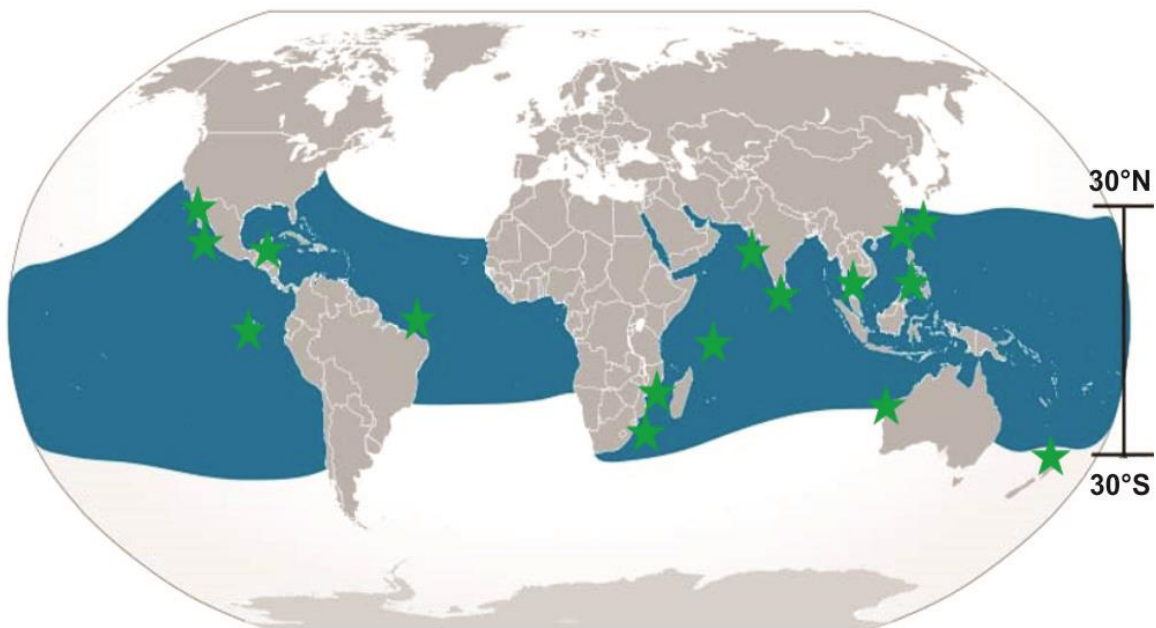


Figura 1. Distribución mundial de *R. typus* indicada con fondo azul (Compagno, 2001) y zonas de agregación marcadas con estrellas verdes (basado en Sequeira *et al.*, 2013).

En el Océano Pacífico mexicano, y específicamente en el Golfo de California las agregaciones tienen lugar en Bahía San Luis Gonzaga, Bahía de los Ángeles, Bahía de la Paz, San Blas, Banco Gorda e Isla Espíritu Santo (Clark y Nelson, 1997; Enríquez-Andrade *et al.*, 2004; Ramírez-Macías *et al.*, 2007; Peregrín-Tovar, 2014), estos sitios parecen indicar una segregación por edad y sexo (Ketchum *et al.*, 2012; Ramírez-Macías *et al.*, 2012). Cabe destacar que estas agregaciones tienen lugar en distintas temporadas del año, en Bahía San Luis Gonzaga y Bahía de los Ángeles las agregaciones se

observan de mayo a noviembre (Vázquez-Haikin, 2011), en Bahía de la Paz de septiembre a enero (Clark y Nelson, 1997), en San Blas de noviembre a abril (Ramírez-Macías *et al.*, 2014), mientras que en Banco Gorda e Isla Espíritu Santo tienen lugar de octubre a enero (Ketchum *et al.*, 2012; Ramírez-Macías *et al.*, 2012) (Figura 2).

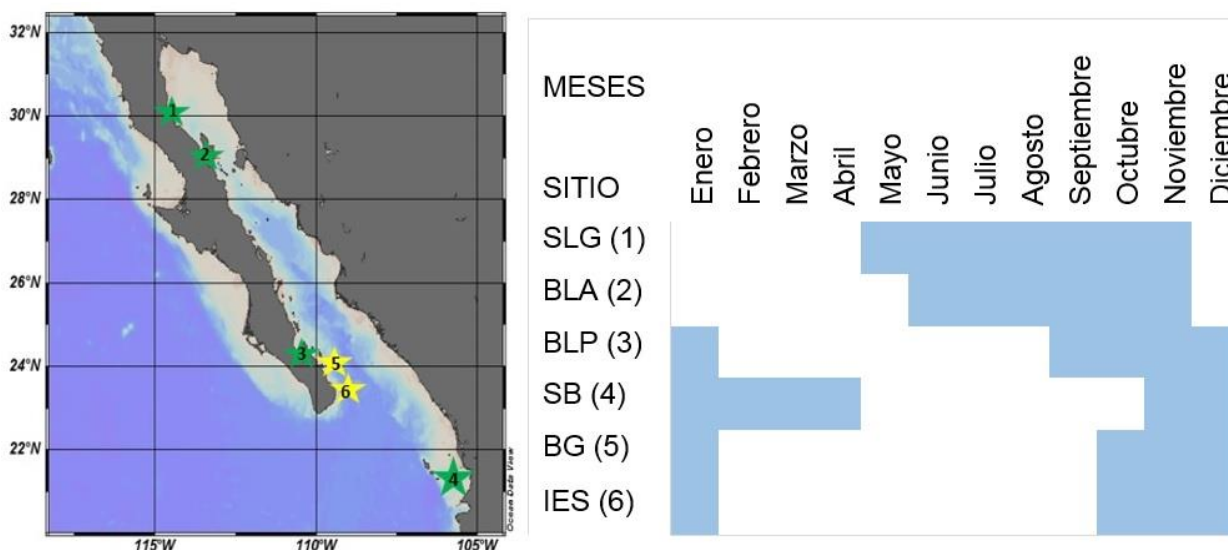


Figura 2. Zonas y temporadas de agregación de *R. typus* en el Golfo de California. Con estrellas verdes se indican las agregaciones de machos juveniles principalmente (4-7 m Longitud Total) y con estrellas amarillas las agregaciones de hembras adultas (9-13 m Longitud Total) principalmente. En los sitios: San Luis Gonzaga (SLG), Bahía de los Ángeles (BLA), Bahía de la Paz (BLP), San Blas (SB), Banca Gorda (BG) e Isla Espíritu Santo (IES).

Para entender qué características hacen de un sitio una zona de agregación es necesario conocer son las variables físicas y biológicas a lo largo del ciclo anual; así como identificar que conducta(s) presenta la especie agregada (Rowat y Engelhardt, 2007; Rohner *et al.*, 2013; Sequeira *et al.*, 2013). Algunos estudios sobre agregaciones de elasmobranchios y mamíferos marinos han reportado que las variables más representativas en las zonas de agregación son la disponibilidad de alimento (Sims y Merrett, 1997; Heyman *et al.*, 2001; Cárdenas-Palomo *et al.*, 2009), la Temperatura Superficial del Mar (TSM) (Sims *et al.*, 2003; Cárdenas-Palomo *et al.*, 2009), la velocidad de corrientes (Sleeman *et al.*, 2010) y la velocidad del viento (Riley *et al.*, 2010). En dichos estudio, también se ha observado que las especies agregadas utilizan las zonas como sitios de forrajeo, reproducción, estación de limpieza, encuentro social y/o protección de depredadores (Sims *et al.*, 2003; Sleeman *et al.*, 2010; Rohner *et al.*, 2013; Nalesso, 2014).

En el caso del *R. typus*, las variables que han sido reportadas como representativas para su agregación alrededor del mundo, son principalmente la abundancia de alimento (Heyman *et al.*, 2001; Duffy, 2002; Wilson *et al.*, 2002) y las altas TSM (Rohner *et al.*, 2013; Sequeira *et al.*, 2013; Thums *et al.*, 2013).

Para el Golfo de California, se desconoce todavía cómo influyen las variables ambientales en las zonas de agregación de *R. typus*. Por lo cual, utilizando la información de los avistamientos de *R. typus* en Bahía de los Ángeles del 2009 al 2013 y obteniendo información de las variables ambientales de la bahía a través de sensores remotos y de la estación meteorológica del sitio. Este trabajo tiene como objetivo identificar las variables ambientales que están asociadas a las temporadas de agregación de *R. typus* en Bahía de los Ángeles en el periodo 2009-2013.

1.1 Biología de tiburón ballena (*Rhincodon typus*; Smith, 1828)

Rhincodon typus es considerado “el pez más grande del mundo” debido a que puede llegar a medir 18 m de Longitud Total (LT) y pesar hasta 34 toneladas. Nombrado comúnmente “tiburón ballena” puesto que tiene un comportamiento característico de los cetáceos; aunque en los países orientales es nombrado “pez dama” o “dominó” por la dispersión de puntos que presenta en su estructura dorsal (Martin, 2007) (Figura 3).

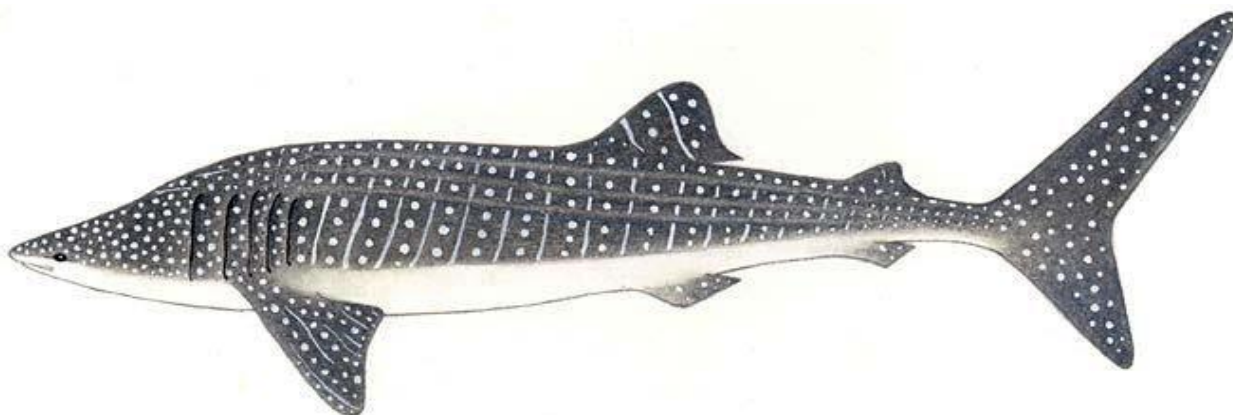


Figura 3. Fisiología del tiburón ballena (*Rhincodon typus*).

Es un elasmobranquio orectolobiforme de la familia Rhincodontidae, que cuenta solamente con el género *Rhincodon* y la especie *R. typus* (Compagno, 2001). Considerada una especie altamente migratoria y de lento nado (30 km/día) en comparación con otros grandes pelágicos (Sequeira *et al.*, 2013). Muestra una preferencia a aguas someras menores a 10 m de profundidad, aunque puede bucear a más de 1000 m (Eckert y Stewart, 2001).

Alimentación- *R. typus* forma parte de los tiburones filtradores, al igual que el tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*) y el tiburón bocón (*Megachasma pelagios*). Presentan barbillas y a través mecanismos de filtración realizan la alimentación, manteniendo una dieta omnívora basada principalmente en zooplancton (Compagno, 2001).

Edad y crecimiento- Es una especie longeva, con un periodo de vida de aproximadamente 80 años, en la cual llega a alcanzar una longitud de 18 m de LT (Hsu *et al.*, 2014). Se estima que tiene la madurez sexual entre los 20-30 años de edad, con longitudes entre 9-9.7 m (Wintner, 2000; Hsu *et al.*, 2014). Presenta un desarrollo embrionario “vivíparo aplacentado”, donde las hembras almacenan embriones en diferentes estadios dentro del útero; se ha documentado que una hembra puede almacenar hasta 300 embriones (Joung *et al.*, 1996), dando a luz a neonatos entre 60-65 cm de LT (Hsu *et al.*, 2014). Hasta el momento se desconocen aspectos sobre su reproducción y los sitios de alumbramiento. Se ha llegado a creer que en islas Galápagos puede ser un sitio de alumbramiento, debido a que la mayoría de los individuos observados en ese sitio son hembras adultas y algunas parecen ser grávidas (Acuña-Marrero *et al.*, 2014).

Estado de protección- A finales de la década de los años 90 las poblaciones de *R. typus* disminuyeron drásticamente, por lo cual, la Unión Internacional por la Conservación de la Naturaleza (IUCN) incluyó a la especie en la Lista Roja como “vulnerable a la extinción” (IUCN, 2013), así como en el Apéndice II de la Convención sobre Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, 2002); mientras que en México, está catalogada como especie amenazada bajo protección especial con base en la NOM-059-ECOL-2010 (DOF, 2010) y prohibida su pesca en territorio mexicano con base en la NOM-029-PESC-2006 (DOF, 2007).

1.2 Antecedentes

A partir de la década de los años 90 los estudios sobre la biología y ecología de *R. typus* se han incrementado significativamente. Diversos trabajos relacionados con preferencias de presas (Heyman *et al.*, 2001; Steven *et al.*, 2001; Rohner *et al.*, 2013), mecanismos de alimentación (Duffy, 2002; Ketchum, 2003), migración vertical diurna (Graham *et al.*, 2006; Gleiss *et al.*, 2013) y preferencia de hábitat (Duffy, 2002; Riley *et al.*, 2010; Rohner *et al.*, 2014) han sido realizados en zonas de agregación. Sin embargo, hace apenas pocos años se iniciaron los estudios sobre la influencia de las variables ambientales en las temporadas de agregación, esto es debido a la falta de bases de datos sobre avistamientos a largo plazo (años).

Taylor (1996) realizó el primer estudio que relacionó las variables ambientales con la presencia de *R. typus* en el arrecife Ningaloo, Australia. Él observó que las agregaciones de tiburones se encontraban desfasadas con el incremento de zooplancton que se generaba del desove de corales y organismos marinos del arrecife. Estudios posteriores realizados en diversas zonas de agregación han obtenido también una correlación positiva entre alta concentración de alimento y las temporadas de agregación; como son los casos de Bahía de La Paz, B. C. S. (Clark y Nelson, 1997), Belice (Heyman *et al.*, 2001), Nueva Zelanda (Duffy, 2002), el Caribe mexicano (Cárdenas-Palomo *et al.*, 2009) y Mozambique (Rohner *et al.*, 2013) por mencionar algunos. De hecho, la mayoría de estos trabajos han sugerido que las zonas de agregación parecen ser utilizadas como sitios de forrajeo, debido a que en la mayoría de los individuos observados se encuentran alimentándose (Cárdenas-Palomo *et al.*, 2009; Clark y Nelson, 1997; Rohner *et al.*, 2013; Taylor, 1996). Por lo antes mencionado, el recurso alimenticio ha sido una de las variables más consideradas en los sitios de agregación.

Por otra parte, las corrientes han sido una variable a considerar para especies migratorias como reptiles, cetáceos y elasmobranchios (Polovina *et al.*, 2000; Montgomery y Walker, 2001; Sims *et al.*, 2003). En el caso de *R. typus*, se ha sugerido que la dirección y velocidad de las corrientes juegan un papel fundamental en su distribución a mar abierto. En 1970, Iwasaki estimó la distribución y abundancia de *R. typus* en las costas de Japón

y observó que la presencia y abundancia de tiburones parecía estar influenciada por la corriente de Kuroshio, la TSM y los vientos. Posteriormente Wilson *et al.* (2001) en el arrecife Ningaloo en Australia, obtuvieron que en eventos La Niña, la corriente de Leeuwin y la velocidad del viento tenían una mayor intensidad; la cual, generaba surgencias constantes que incrementan los nutrientes en la zona de mezcla y por consiguiente la productividad primaria. Estos autores sugirieron que la mayor disponibilidad de alimento puede ser un indicador para la llegada de tiburones, y que puede también influir en su abundancia. Dichos resultados han sido similares a los obtenidos por Sleeman *et al.* (2010a) para el mismo sitio, Ketchum *et al.* (2012) para Bahía de La Paz, México y Rohner *et al.* (2014) para las costas de Mozambique. Por otra parte, en un estudio realizado por Sleeman *et al.* (2010) comparando las velocidades de las corrientes del Océano Índico con la de siete tiburones, reportaron no encontrar evidencia de que *R. typus* esté utilizando las corrientes como un medio de transporte pasivo, debido a que la mayoría de los datos indican que los tiburones mantenían una velocidad mayor a la de las corrientes e incluso una dirección contraria a ellas.

También la TSM ha sido una de las variables ambientales más asociada a las agregaciones de diversos elasmobranchios, como la manta gigante (*Manta birostris*) (Sleeman *et al.*, 2007; Rowat *et al.*, 2009), el tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*) (Priede y Miller, 2009), la mantarraya (*Manta alfredi*) (Rohner *et al.*, 2013) y el tiburón ballena (Sleeman *et al.*, 2007; Rohner *et al.*, 2013; Sequeira *et al.*, 2013; Acuña-Marrero *et al.*, 2014). Para este último, se han propuesto que la TSM puede servir con indicador en la predicción del hábitat de la especie a mar abierto, debido a que las agregaciones y los estudios de marcaje satelital han detectado una preferencia a temperaturas entre 20-31°C (Sequeira *et al.*, 2012). En el 2014, Sequeira *et al.* estudiaron la posibilidad de una sincronización en las agregaciones entre el océano Atlántico y Pacífico. En sus resultados ellos indican una probabilidad del 15% de que este hecho suceda, y comentan que posiblemente este resultado se deba a la poca cantidad de datos analizados (una década), ya que siendo *R. typus* una especie longeva es necesario incrementar el tiempo de muestreo para conocer si verdaderamente existirá dicha sincronización.

Tomando en cuenta lo anterior, el presente estudio pretende complementar la caracterización del hábitat local y regional de Bahía de los Ángeles, considerando el comportamiento de las variables ambientales en tiempo y espacio a lo largo del Golfo de California, y así, posteriormente poder analizar qué factores influyen en la agregación de *R. typus* en Bahía de los Ángeles.

1.3 Justificación

R. typus es una especie considerada como “vulnerable”, enlistada en la Lista Roja de la IUCN e incluida en el Apéndice II del CITES. Esta especie se agrega de junio a noviembre en Bahía de los Ángeles y su presencia ha sido aprovechada por los lugareños para realizar actividades de ecoturismo, que constan de observación y nado con tiburones, generando ingresos económicos a los prestadores de servicios y negocios locales. Sin embargo poco se sabe sobre el por qué *R. typus* se agrega en esta zona en determinada temporada del año, así como qué condiciones ambientales presenta Bahía de los Ángeles para ser utilizada como zona de agregación.

El conocimiento de esta información es importante debido a que la presencia de *R. typus* ha llegado a ser un pilar en el desarrollo económico del sitio, y a pesar de esto poco se conoce sobre cómo las variables ambientales influyen en que los tiburones regresen cada año. Diversos estudios realizados en el Golfo de California con el objetivo de comprender la presencia del *R. typus* en la zona han resaltado la necesidad de generar estudios a largo plazo (años) que contemplen la variación de los factores ambientales para conocer la relación que existe entre las variables físico-biológicas y las temporadas de agregación de *R. typus* (Enrique-Andrade *et al.*, 2004; Rodríguez-Dowdell *et al.*, 2008; Ramírez-Pérez, 2011). Esta información es necesaria e indispensable para complementar la caracterización del hábitat local y regional, y poder detectar qué factores influyen en la agregación de *R. typus* en Bahía de los Ángeles, ya que esta información ayudará para el diseño de estrategias de manejo y conservación de la especie.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

- Identificar las variables ambientales que están asociadas a las temporadas de agregación de *Rhincodon typus* en Bahía de los Ángeles durante el periodo 2009-2013.

2.2 Objetivos específicos

- Describir el comportamiento mensual y estacional de las variables físicas y biológica en el Golfo de California en el periodo 2009-2013
- Analizar la relación que existe entre las variables ambientales y la abundancia relativa de *Rhincodon typus* en Bahía de los Ángeles.

2.3 Hipótesis

Se espera que las temporadas de agregación de *R. typus* en Bahía de los Ángeles estén relacionadas con altos niveles de concentraciones de clorofila, debido a que en la mayoría de los avistamientos los tiburones se mantienen en la superficie alimentándose. También se espera que las altas TSM se relacionen con su presencia, puesto que se ha documentado su preferencia a aguas cálidas, mayores de 18°C. Por otra parte, es posible que las corrientes del Golfo de California influyan en la llegada o salida de *R. typus* de la bahía, puesto que es una especie migratoria y el uso de las corrientes podría servirle de transporte con un bajo costo energético.

3. Metodología

3.1 Área de estudio: Golfo de California

El Golfo de California es un cuerpo de agua situado en el Noroeste de México y confinado por la península de Baja California; se localiza entre los 20° y 32° de latitud Norte y 105.5 a 114.5° de longitud Oeste; tiene una extensión aproximada de 1400 km y una boca de 150-200 km que se conecta con el Océano Pacífico Tropical (Figura 4). El cual, domina la dinámica estacional y termodinámica del Golfo de California (Bray, 1988; Beier, 1997).

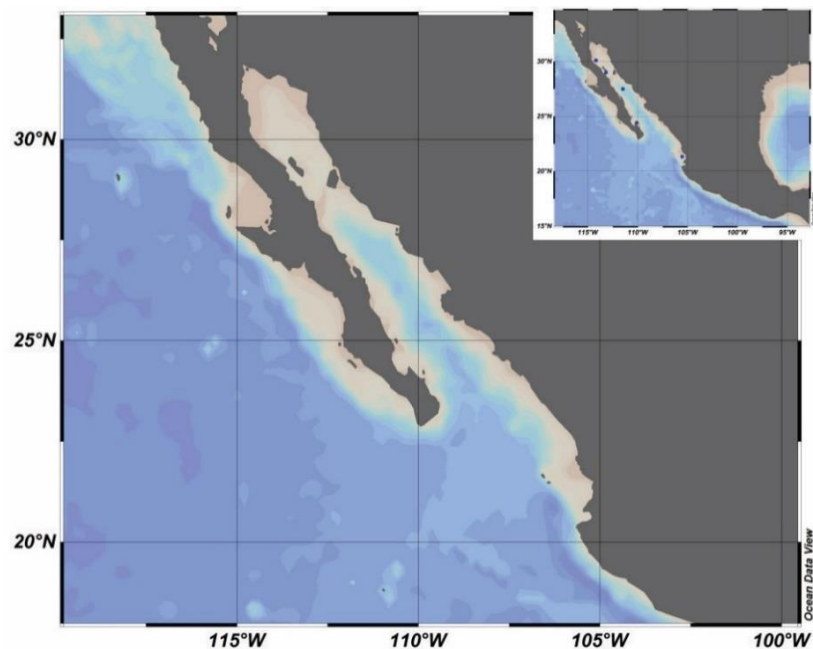


Figura 4. Macrolocalización del Golfo de California

El Golfo de California presenta una dinámica de vientos con variación estacional (Amador-Buenrostro *et al.*, 1991). En los meses de otoño, invierno y primavera los vientos dominantes con dirección Norte-Noroeste y velocidades entre 8-12 m/s promueven el flujo de las corrientes hacia el Océano Pacífico Tropical (Lavin y Marinone, 2003). Mientras que en verano los vientos del Sur-Sureste, con velocidades ≤ 5 m/s introducen aire húmedo y cálido al golfo, generando condiciones climáticas de tipo tropical (Amador-Buenrostro *et al.*, 1991) e intensas corrientes con dirección Norte, que suelen llegar hasta el Alto Golfo de California (Marinone *et al.*, 2009). Lavín *et al.* (2014), haciendo uso de

derivadores e imágenes satelitales mostraron que las corrientes costeras tienen una velocidad promedio de 0.6 m/s y alcanzan velocidades hasta de 0.8 m/s. Por ejemplo, el tiempo que le llevó a un derivador recorrer 1000 km (desde la boca del Golfo hasta el Alto Golfo) fue de 20 días. Estos resultados sugieren que el acarreo de aguas superficiales en los meses de verano podrían ser un factor importantes para el transporte de organismos que se asocian a la superficie; el cual indica ocurrir anualmente en los meses de verano (Lavin *et al.*, 2014).

Las concentraciones de clorofila también presentan una variación estacional (Santamaría-del-Angel *et al.*, 1999; Alvarez-Borrego, 2012; Escalante *et al.*, 2013); en los meses de primavera se obtienen las mayores concentraciones de clorofila, las cuales se asocian principalmente a eventos de surgencias costeras que se extienden del lado Este de la boca del Golfo hasta la zona norte del Golfo de California (Lavin y Marinone, 2003). Por el contrario, en los meses de verano, la dominancia de vientos Sur-Sureste introducen agua tropical al Golfo de California y generan una termoclina somera que inhibe el acarreo de nutrientes a la zona eutrófica (Álvarez-Borrego, 2002), y por consiguiente limita el incremento en las concentraciones de clorofila (Lavin y Marinone, 2003). Solamente la región de las Grandes Islas mantiene altas concentraciones de clorofila todo el año (Alvarez-Borrego, 2007).

La región de las Grandes Islas se encuentra entre 28.5 y 29.8° de latitud norte, donde se localizan el Canal de Ballenas, Isla Ángel de la Guarda e Isla tiburón principalmente. Presenta las menores temperaturas y la mayor concentración de nutrientes dentro del Golfo de California, debido su fuerte dominancia por mareas, que genera una mezcla de nutrientes similares al de surgencias constantes (Alvarez-Borrego, 2007). Por esta razón la productividad primaria es alta y en la zona se encuentra gran cantidad de especies marinas (Alvarez-Borrego, 2007). Adyacente al Canal de Ballenas se localiza Bahía de los Ángeles (29°N y 113.30°O) Ubicada dentro de la Reserva de la Biosfera Bahía de los Ángeles-Canal de Ballenas y Salsipuedes (SEMARNAT, 2011); es una bahía somera (<50 m) con características oceanográficas influenciadas principalmente por el Canal de Ballenas (Amador-Buenrostro *et al.*, 1991; Alvarez-Borrego, 2007) y con agregaciones de *R. typus* de junio a noviembre.

3.2 Variables ambientales y base de datos

Con base en los estudios realizados previamente enfocados en la influencia de las variables ambientales sobre las agregaciones de *R. typus*, se tomaron en cuenta los parámetros ambientales que han sido reportados como representativos en distintas zonas de agregación, los cuales son: la TSM, la velocidad y dirección de la corriente superficial, la velocidad y dirección del viento y la concentración de clorofila. Los datos fueron obtenidos a través de diversos sensores remotos principalmente.

Los sensores remotos son utilizados en la ciencia para adquirir información acerca de la superficie de la tierra sin estar realmente en contacto con ella. La información se obtiene a través de la detección de energía emitida, obtenida a través de métodos pasivos y activos; en la mayoría de los sensores remotos el proceso implica la interacción entre la radiación incidente y los objetos de interés (Avery y Berlin, 1992). Para la obtención de información se encuentran involucrados diferentes procesos (Figura 5); los cuales son: el recurso de energía o iluminación (A), la radiación y la atmosfera (B), interacción con el objeto (C), el reconocimiento de energía por el sensor (D), la transmisión, recepción y procesamiento de datos (E), interpretación y análisis (F) y su aplicación (G).

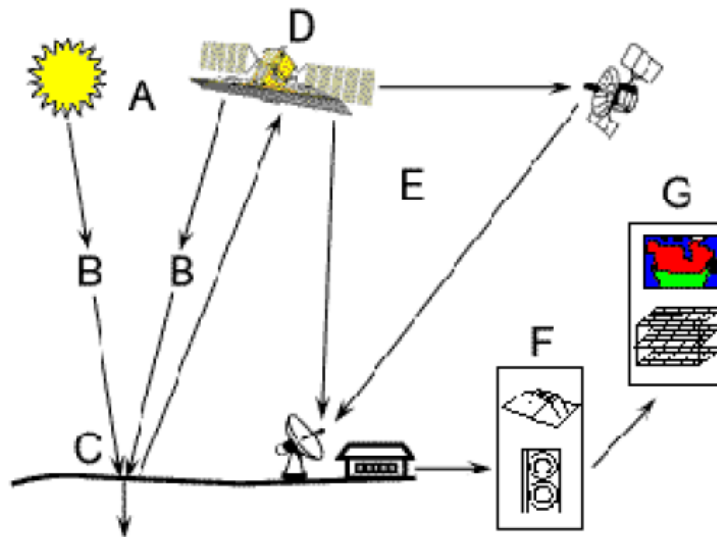


Figura 5. Procesos involucrados en la obtención de información a través de sensores remotos. recurso de energía o iluminación (A), radiación y atmosfera (B), interacción con el objeto (C), reconocimiento de energía por el sensor (D), transmisión, recepción y procesamiento de datos (E), interpretación y análisis (F) y aplicación (G).

Para la obtención de datos de las variables representativas previamente mencionadas; se descargaron los promedios mensuales del periodo 2009-2013 en el sitio web de la NOAA “OceanWatch Live Acces Server” (<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servlets/dataset?var=2>) (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros ambientales con unidades, nombre del sensor, tamaño de pixel y periodos de la información utilizada.

Parámetro	Unidad	Sensor Remoto	Tamaño de Pixel	Periodo
Temperatura Superficial del Mar	°C	AVHRR	9X9 km	2009-2013
Concentración de clorofila	mg/m ³	MODIS Aqua	9X9 km	2009-2013
Velocidad de la corriente	cm/s	AVISO	9X9 km	2009-2013
Dirección de la corriente	N-S-E-O	AVISO	9X9 km	2009-2013
Velocidad del viento	m/s	CCMP	25 km	2009-2011
Dirección del viento	N-S-E-O	CCMP	25 km	2009-2010
Velocidad del viento	m/s	IIO	Estación meteorológica	2010-2013
Dirección del viento	N-S-E-O	IIO	Estación meteorológica	2010-2013

La TSM se descargó del sensor remoto AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) para el periodo 2009-2013; los datos obtenidos se pudieron comparar con los disponibles *in situ*, estimados durante las salidas de monitoreo de *R. typhus* en Bahía de los Ángeles. Dicha comparación se realizó para conocer la igualdad y/o diferencia entre las fuente de los datos, y se encuentran desarrollada en el Anexo 1 del presente trabajo.

Por otra parte, la obtención de los valores de concentración de clorofila mensual del periodo 2009-2013, se obtuvieron a través del sensor remoto MODIS Aqua (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a una resolución de 9X9 km. Mientras que los datos de velocidad y dirección de las corrientes fueron obtenidos a través del sensor remoto AVISO (Satellite Altimetry Data). Satélite que mide la altura del nivel del mar, el componente zonal y el componente meridional a través de dos sistemas de altimetría, utilizados para estudiar la dinámica de las corrientes en los océanos del mundo. De dicho sensor se descargaron los valores del componente “u” que indica el componente zonal (velocidad) y el componente “v” que indica el componente meridional (dirección), y a través de ellos obtuvimos la velocidad de las corrientes en unidades de cm/s (1).

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

Para la obtención de datos de velocidad y dirección del viento se utilizó la multiplataforma CCMP (Multiplataforma de calibración cruzada de la NOAA) (http://podaac.jpl.nasa.gov/Cross-Calibrated_MultiPlatform_OceanSurfaceWindVector_Analyses), de la cual se extrajeron los valores del componente zonal “u” y componente meridional “v” para el periodo 2009-2010, y se obtuvo la velocidad y dirección del viento en unidades de m/s utilizando la ecuación (1). En el caso del sitio Canal de Ballenas (CB), la información del periodo 2011-2013 se adquirió de la estación meteorológica del Instituto de Investigaciones Oceanográficas (IIO) de la UABC, situada en el poblado de Bahía de los Ángeles (Anexo 2). Para complementar la información, se descargaron imágenes satelitales mensuales de TSM y concentración de clorofila del Golfo de California, las cuales fueron descargadas del sitio web “OceanColorWeb” de la NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/l3>) del año 2013, caracterizado como “Normal” ($\leq \pm 0.05^\circ\text{C}$) por la NOAA para la región del Pacífico Oriental Tropical.

3.3 Sitios de muestreo del Golfo de California

Se eligieron cuatro sitios de muestreo en puntos estratégicos del Golfo de California (Figura 6), para obtener información de las variables a lo largo del golfo y poder observar su variación en tiempo y espacio; los sitios seleccionados fueron:

- ❖ Zona Norte del Golfo (**ZN**) (Latitud: 30.1 N y Longitud:-114.2 W), se caracteriza por presentar alta TSM y niveles altos de concentración de clorofila (Santamaria-del-Angel *et al.*, 1994). En esta región se presentan giros ciclónicos de junio a septiembre y anticiclónico de noviembre a abril (Lavín, *et al.*, 2006). El sitio de muestreo se seleccionó cercano a Bahía San Luis Gonzaga, puesto que ha sido reportado como zona de agregación de *R. typus* (Vázquez-Haikin, 2011).
- ❖ Canal de Ballenas (**CB**) (Latitud: 29 N y Longitud:-113.2 W), zona caracterizada por su dominancia por mareas, las cuales promueven la mezcla constante y generan condiciones similares a surgencias constantes, con alta productividad. El CB se caracteriza por alcanzar las mayores concentraciones de clorofila anual (Lavín y Marinone, 2003; Álvarez-Borrego, 2007).
- ❖ Cuenca de Guaymas (**CG**) (Latitud: 27.5 N y Longitud:-111.5 W) representa las características de la zona central del golfo, con aguas profundas (>1000 m) y una dominancia por remolinos.
- ❖ Bahía de la Paz (**BLP**) (Latitud: 24.45 N y Longitud:-109.48 W) tiene una profundidad <300 m, con TSM cálidas y características tropicales. Se encuentra protegida por las islas San José y San Lorenzo; en esta bahía se observan agregaciones de *R. typus* en los meses de septiembre a enero (Ketchum *et al.*, 2012; Ramírez-Macías *et al.*, 2012).
- ❖ San Blas (**SB**) (Latitud: 21.33 N y Longitud:-105.56 W) representa la región de la entrada o boca del Golfo de California; debido a su posición geográfica es la primera zona en detectar los intercambios entre el Golfo de California y el Océano Pacífico Tropical. Se caracteriza por presentar alta TSM y bajas concentraciones de clorofila (Lavín y Marinone, 2003; Alvarez-Borrego, 2012). Monitoreos recientes han indicado la presencia de *R. typus* durante los meses de noviembre a abril (Ramírez-Macías *et al.*, 2014).

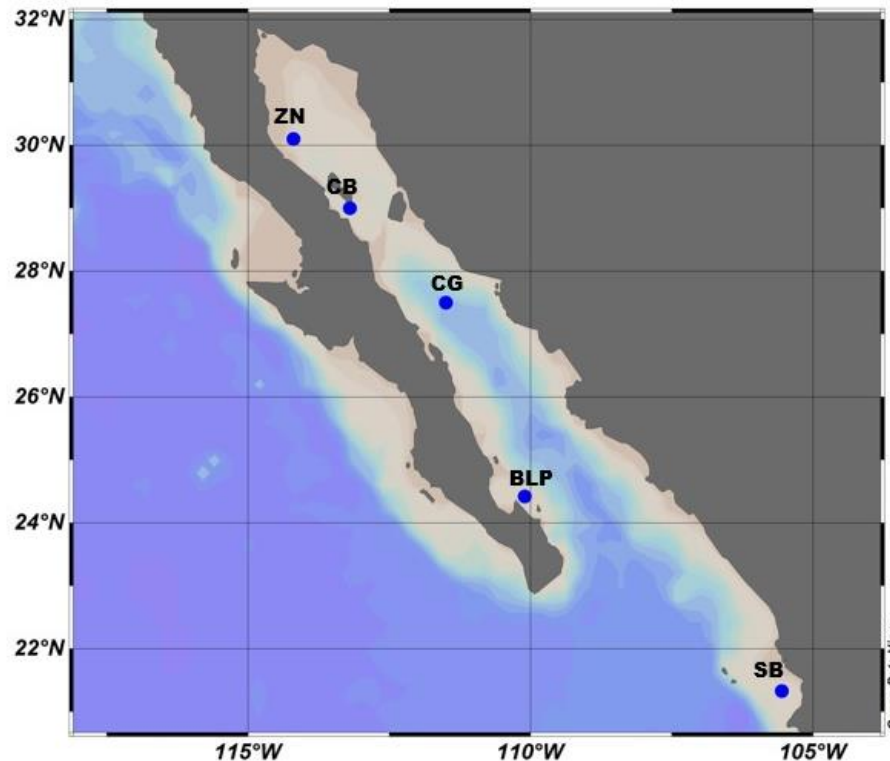


Figura 6. Ubicación de los sitios de muestreo en el Golfo de California

3.4 Abundancia Relativa de *R. typus* en Bahía de los Ángeles

Para analizar los efectos de las variables ambientales en la abundancia de *R. typus* en Bahía de los Ángeles, se utilizó la información del monitoreo del grupo comunitario PEJESAPO durante el periodo 2009-2013. Durante los monitoreos, cada tiburón es observado e individualizado a través de foto-identificación (Vázquez-Haikin, 2011; Peregrín-Tovar, 2013). La foto-identificación permite discriminar a los tiburones que se han observado anteriormente e identificar individuos nuevos. Se compararon las imágenes de foto identificación (ID) utilizando el programa **Software I³S** (Sistema de Identificación Individual Interactivo), el cual, detecta el patrón de distribución de puntos que tienen los tiburones de la 5^{ta} branquia a la aleta pectoral derecha (Speed, 2006; Marshall y Pierce, 2012) y con esto, podemos eliminar a los individuos observados más de una vez.

La abundancia se representó a través del índice de Abundancia Relativa (AR) de manera mensual (Peregrín-Tovar, 2013) estimado por el cociente entre el número de individuos diferentes observados durante los monitoreos del mes dividido entre el esfuerzo de monitoreo, medido en número de horas durante el mes (Enrique-Andrade y Iñiguez Hernandez, 2004; Peregrín-Tovar, 2013). El tiempo de esfuerzo de monitoreo se obtuvo conociendo la hora de salida y regreso de la embarcación; las salidas comúnmente duraron entre 4-5 horas y se realizaron dos veces a la semana, dependiendo de las condiciones climáticas. La AR se estimó aplicando la ecuación (2). El índice se obtuvo utilizando la información de: cantidad de individuos diferentes observados en una salidas de monitoreo y tiempo de esfuerzo de monitoreo realizado por día, el esfuerzo se midió

$$AR = \frac{\text{Individuos observados}}{\text{Horas de Esfuerzo de monitoreo}} \quad (2)$$

Para caracterizar el patrón mensual de la AR, considerando los 5 años observados, se obtuvieron los promedios de AR para cada mes y se promediaron anualmente para el periodo 2009-2013 (Figura 7). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía utilizando el programa STATISTICA.7, para conocer si existen diferencias significativas entre los valores de la AR mensual y/o anual, con un valor de significancia de $p < 0.05$.

El ANOVA para la AR mensual (Figura 7A) mostró un valor de $p < 0.00$, indicando que existen diferencias significativas entre meses de presencia (junio-noviembre) y ausencia (diciembre-abril) de *R. typus*. Sin embargo no existieron diferencias significativas entre los meses de presencia, con un valor de $p = 0.52$. Para la AR anual durante el periodo de 2009 a 2013, el ANOVA tuvo un valor de $p > 0.05$ (Figura 7B), indicando que tampoco existen diferencias significativas entre los años de monitoreo. Por lo cual, para relacionar la AR con las variables ambientales de Bahía de los Ángeles se decidió utilizar los valores de AR mensual por temporada.

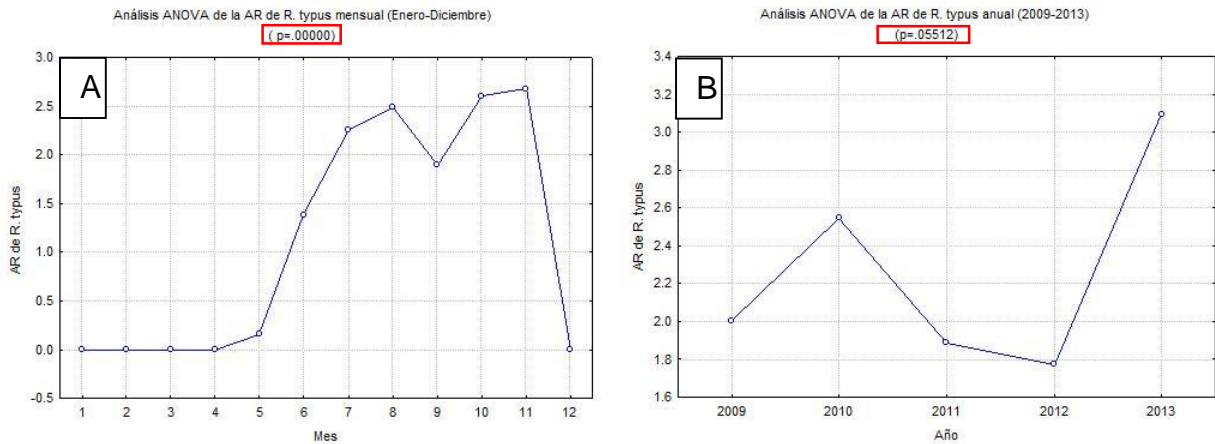


Figura 7. Análisis ANOVA de una vía A) Análisis ANOVA entre abundancia relativa mensual de enero-diciembre, indicados con números del 1 al 12. B) Análisis ANOVA de la abundancia relativa anual de los años 2009-2013.

3.5 Abundancia Relativa de *R. typhus* y su relación con las variables ambientales

Para conocer si existe una relación entre las variables ambientales de Bahía de los Ángeles con la AR de *R. typhus* se utilizó el análisis de Modelo Lineal Generalizado (MLG). Los Modelos Lineales Generalizados son una extensión de los modelos lineales que permiten utilizar distribuciones no normales de los errores (binomial, Poisson, gama, etc.) y varianzas no constantes, donde β_1 , β_2 y β_3 son parámetros del modelo, con un valor de intercepto de $\beta_0 = -5.12$ (3).

$$\text{Índice de abundancia de } R. typhus = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 \quad (3)$$

Se utiliza un MLG cuando la variable dependiente o de respuesta son variables de conteo (Poisson), variable de conteo expresada en proporciones (Gama) o variables establecidas como binaria (Binomial) (Guisan *et al.*, 2002). Se utiliza el Criterio de Información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés) para la selección del mejor modelo, que sea eficaz y objetivo. En los MLG no existe una R^2 , sin embargo su aproximación es

la devianza explicada, la cual expresa el porcentaje de la variación de la variable de respuesta (dependiente) que es explicada por las variables explicativas (independientes) (Crawley, 2013).

Para nuestro caso de estudio se utilizó una distribución Poisson, debido a que la variable dependiente "AR" es una variable de conteo, donde la mayoría de datos son "0" y los número de avistamientos son expresados en números enteros. Después de estimar la AR mensual por año (Figura 9), los datos fueron redondeados al entero más cercano, es decir, cuando un valor fraccionario fue ≥ 0.5 se elevó a la siguiente unidad (P.ej. 1.51= 2).

Para las variables de Bahía de los Ángeles se utilizaron los datos del Canal de Ballenas, debido a la dominancia que presenta el canal sobre la bahía. Los datos utilizados para el MLG fueron la velocidad y dirección del viento, concentración de clorofila, velocidad y dirección de las corrientes y la TSM. Se realizó un análisis de correlación entre las variables ambientales para evaluar el nivel de correlación entre ellas, tomando en cuenta como alta correlación a valores ≥ 0.5 (Tabla 8), debido a que la aplicación del modelo es incorrecto si las variables se encuentran altamente correlacionadas (Crawley, 2013). Posteriormente se realizó el MLG en el lenguaje de programación R versión 3.0.1 (The R Foundation for Statistical Computing) y se utilizó el AIC para elegir el mejor.

3.5.1 Comprobación de supuestos del Modelo Lineal Generalizado

El MLG asume que: a) existe una independencia entre los valores de cada punto; b) existe una distribución normal en los residuales; c) se tiene una estructura específica de la varianza; d) existe una relación lineal entre la variable respuesta y los predictores lineales. Se comprobaron los supuestos de Normalidad y Aleatoriedad de residuales para avalar que el modelo estadístico está cumpliendo con los requerimientos anteriormente mencionados. Para el supuesto de normalidad (Figura 8A), la distribución de los datos residuales mostraron una tendencia a la normalidad, por lo cual, se asume que se cumple el supuesto. Por otra parte, para el supuesto de aleatoriedad de residuales (Figura 8B) el gráfico mostró que los residuales no presentan tendencia, solamente se observan algunos valores alineados en el extremo izquierdo inferior del gráfico, los cuales reflejan

los valores cero "0" del análisis; por lo cual, no son representativos y se acepta el supuesto de aleatoriedad de residuales.

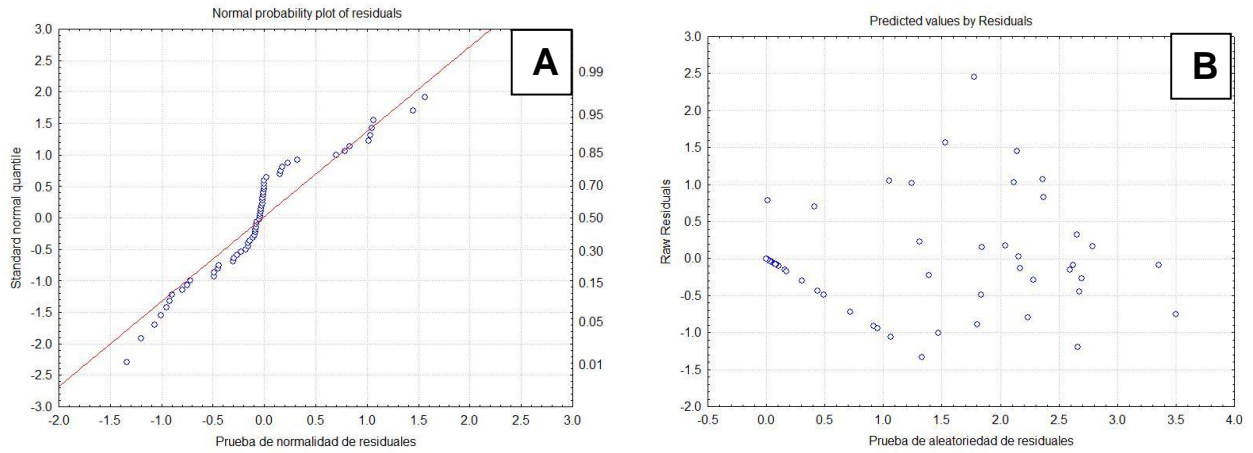


Figura 8. Comprobación de supuestos de residuales para el modelo general lineal A) Normalidad de residuales B) Aleatoriedad de residuales.

4. Resultados

4.1 Abundancia relativa de *R. typus* en Bahía de los Ángeles

La AR (individuos observados/horas de esfuerzo) varió mensualmente a lo largo de los 5 años de monitoreo (Figura 9). El año 2009 fue el único en el cual se reportaron avistamientos de tiburones en mayo con 1 AR, los valores máximos se obtuvieron en noviembre, con 4 AR. Para el 2010, los primeros avistamientos tuvieron lugar en julio con 2 AR, incrementando a 3 AR para octubre y culminando la temporada con 2 AR en noviembre.

Para el 2011 los primeros avistamientos tuvieron lugar en junio con 1 AR, incrementando a 3 AR en octubre y disminuyeron a 2.5 AR para noviembre. El año 2012, fue el que presentó las menores AR de los cinco años; los avistamientos iniciaron en junio con 2 AR, una máxima de 2.5 AR para agosto y culminando la temporada con 1.5 AR en noviembre. Por último, el año 2013 presentó las máximas AR de los cinco años de monitoreo. La temporada de avistamientos inició en junio con 3 AR y alcanzó una máxima de 3.5 AR en el mes de agosto y culminando la temporada en noviembre con 3.4 AR (Figura 9).

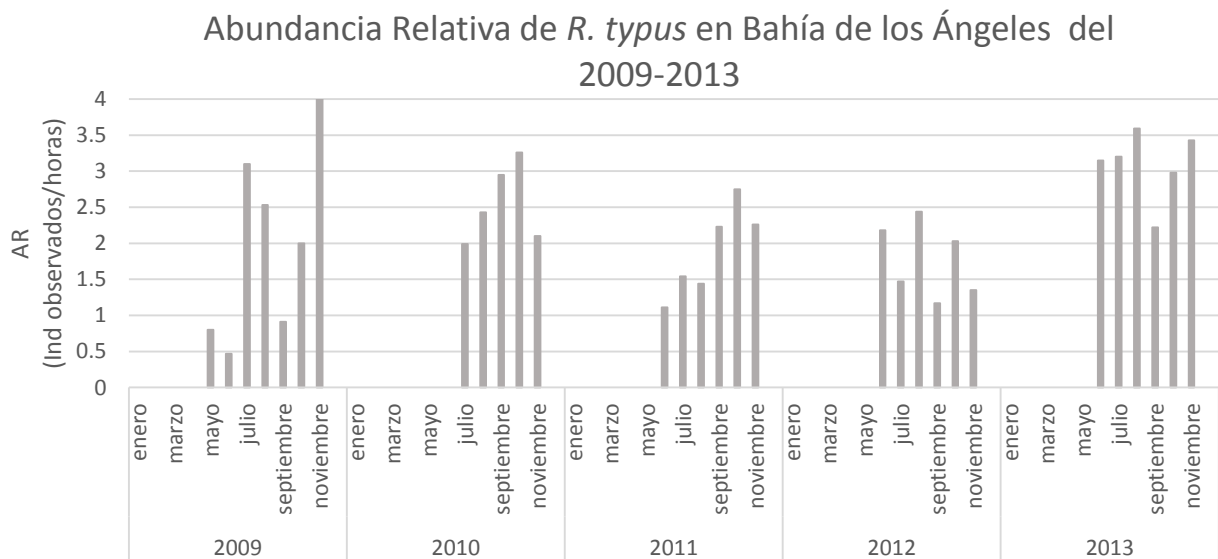


Figura 9. Abundancia Relativa mensual de *R. typus* en Bahía de los Ángeles del periodo 2009-2013.

La AR mensual promedio se estimó considerando los cinco años de muestreo, los datos indican que la AR mensual tuvo una variación entre 1 y 2.6 AR (Tabla 2). Solamente el mes de mayo no cuenta con desviación estándar, valor mínimo ni máximo, debido a que se cuenta solamente con el dato para la temporada del año 2009.

Los datos sugieren que hay un incremento de avistamientos conforme avanza la temporada de agregación, con los valores máximos de AR en el mes de agosto con 2.6 ± 0.9 AR. En el mes de septiembre se observa que existe una disminución de AR, y es muy interesante, debido a que se disminuye entre los meses con mayores abundancias. Por último, en los meses de octubre y noviembre, los valores de AR se mantienen entre 2.4 ± 0.5 AR y 2.4 ± 1.1 AR respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Promedio mensual de la abundancia relativa (individuos observados/horas de monitoreo) de *R. typus* con desviación estándar, valor mínimo y máximo.

Mes	Promedio	DE	Mínimo	Máximo
Mayo	1	-	-	-
Junio	1.7	± 0.9	1	3
Julio	2.2	± 0.8	1	3
Agosto	2.6	± 0.9	2	4
Septiembre	1.8	± 0.8	2	3
Octubre	2.4	± 0.5	2	3
Noviembre	2.4	± 1.1	1	4

Por otra parte, la AR anual mostró pocas variaciones en la AR. El año 2009 mostró una abundancia de 2.0 ± 1.2 AR, mientras que en el 2010 la abundancia incrementó a 2.4 ± 0.5 AR, siendo el segundo año con mayor cantidad de individuos observados. Para el año 2011 las abundancia se mantuvieron entre 2 ± 0.6 AR. Mientras que en el 2012 fue el único año que presento una disminución en sus avistamientos, con valores de 1.5 ± 0.5 AR; este último mostro los valores más bajos de los 5 años de monitoreo. Sin embargo, para el año 2013 los individuos observados incrementaron casi el doble de los valores obtenidos en el 2012, manteniendo valores de 2.8 ± 0.8 AR, la cual fue la mayor de los 5 años de monitoreo (Tabla 3).

Tabla 3. Promedio anual de la abundancia relativa de *R. typus* con desviación estándar, valor mínimo y máximo.

Año	Promedio	DE	Mínimo	Máximo
2009	2	±1.2	1	4
2010	2.4	±0.5	2	3
2011	2	±0.6	1	3
2012	1.5	±0.5	1	2
2013	2.8	±0.8	2	4

4.2 Velocidad y dirección del viento

La velocidad y dirección del viento indicó una variación estacional, en los meses de invierno, primavera y otoño el viento dominante fue con dirección Noroeste y con velocidades entre 3-5 m/s. Mientras que en los meses de verano (junio-septiembre) los vientos dominantes fueron con dirección Sureste y con velocidades entre 2-5 m/s. Para el sitio San Blas (SB) las velocidades se mantuvieron menores, entre 0.8-2.6 m/s (Tabla 4).

Tabla 4. Promedio mensual de la velocidad (m/s) y dirección del viento, con valores mínimos, máximos y promedio.

Mes	ZN	CB	CG	BLP	SB	Dirección
enero	4.27	4.67	5.53	5.08	1.99	NO-O
febrero	2.42	3.70	4.98	4.78	1.89	NO-O
marzo	2.15	3.38	3.90	3.27	2.45	NO-O
abril	2.58	3.61	2.48	2.27	2.66	NO-O
mayo	2.57	3.62	1.66	0.97	2.33	NO-O
junio	4.02	2.78	0.97	1.10	2.30	SE-E
julio	4.58	2.56	2.89	1.71	1.38	SE-E
agosto	2.79	2.19	2.40	1.65	0.99	SE-E
septiembre	1.27	1.61	1.51	1.03	0.87	NO
octubre	2.12	2.94	3.03	2.28	0.99	NO
noviembre	3.70	2.77	4.29	3.75	1.39	NO
diciembre	3.49	3.09	4.46	4.11	1.63	NO-O
Mínimo	1.27	1.61	0.97	0.97	0.87	
Máximo	4.58	4.67	5.53	5.08	2.66	
Promedio	3.00	3.08	3.18	2.67	1.74	

4.3 Temperatura Superficial del Mar (TSM)

Al momento de comparar los datos obtenidos del sensor remoto AVHRR con los disponibles *in situ* que fueron obtenidos durante las salidas de monitoreo (Anexo 1), se obtuvo que los datos del sensor remoto AVHRR muestran temperaturas un poco superiores a las obtenidas *in situ*. El 92% de los datos tuvieron diferencias $\leq 1^\circ\text{C}$ y solamente el 8% de mostraron diferencias $> 2^\circ\text{C}$; en general mostraron una diferencia de 0.46°C . Debido a que el número de datos “malos” es bajo (considerando datos malos a los $> 2^\circ\text{C}$), podemos decir que los datos obtenidos del sensor remoto AVHRR están representando con gran exactitud la TSM que muestra Bahía de los Ángeles.

En los sitios de muestreo del Golfo de California la TSM indica variaciones estacionales con diferencias principalmente entre verano e invierno (Figura 10). Las TSM máximas se mantienen de julio a septiembre y oscilan entre $29.5\text{-}32.3^\circ\text{C}$, mientras que las mínimas se presentan de noviembre a enero y oscilan entre $16.5\text{-}24^\circ\text{C}$ (Tabla 5).

Tabla 5. Promedio mensual de TSM ($^\circ\text{C}$) con valor mensual mínimo, máximo y promedio del periodo 2009-2013.

Mes	ZN	CB	CG	BLP	SB-N
enero	17.64	17.19	18.22	21.09	24.85
febrero	16.54	16.27	18.07	20.02	24.02
marzo	17.18	16.91	18.64	20.36	24.91
abril	19.33	18.51	21.04	21.42	25.61
mayo	21.78	21.13	24.61	22.65	27.76
junio	24.51	24.12	27.44	24.10	29.27
julio	29.16	28.01	29.99	26.74	29.77
Agosto	30.94	30.18	31.21	29.22	30.67
septiembre	30.42	29.54	30.91	29.54	30.28
octubre	27.98	26.88	28.81	28.80	30.25
noviembre	23.57	22.89	24.22	26.42	28.34
diciembre	19.40	19.37	20.12	23.10	25.98
Mínimo	16.54	16.27	18.07	20.02	24.02
Máximo	30.94	30.18	31.21	29.54	30.28
Promedio	23.20	22.58	24.44	24.46	27.64

En sitio San Blas (SB) mostró las mayores TSM de los 5 puntos, con una oscilación entre 24-30.2°C. En los meses de julio a septiembre (Figura 11G-11I) se presentan las mayores TSM, entre 29 a 30.2°C. Mientras que las TSM mínimas tienen lugar de diciembre a marzo (Figura 11L-11C) con valores entre 24-26°C, manteniendo un promedio de temperatura de 27.6°C.

Para Bahía de la Paz (BLP) la TSM vario entre 20-29.5°C; con las máximas TSM de julio de septiembre oscilando entre 26.7-29.5°C (Figura 11G-11I); mientras que las mínimas TSM se obtuvieron de diciembre a marzo, oscilando entre 20-23°C (Figura 11L-11C) y mantiene un promedio de temperatura de 24.4°C.

En el caso de la Cuenca de Guaymas (CG) la TSM máximas se obtuvo de mayo a noviembre, con valores entre 29.9-31.2°C (Figura 11E-11I), mientras que las mínimas se mantuvieron de diciembre a marzo, con valores entre 18 a 20°C (Figura 11L-11C), y mantiene un promedio de temperatura de 24.4°C.

El Canal de Ballenas (CB) y la Zona Norte (ZN) del Golfo de California tuvieron tendencias de TSM similares, los valores máximos se presentaron de julio a septiembre oscilando entre 28-30.9°C (Figura 11G-11I), mientras que mínimos se mantuvieron de diciembre a marzo, entre 16-19.4°C (Figura 11L-11C). Ambos sitios tuvieron la mayor variación en temperatura de 16°C al año, y tuvieron un promedio de 23.2°C y 22.5°C respectivamente.

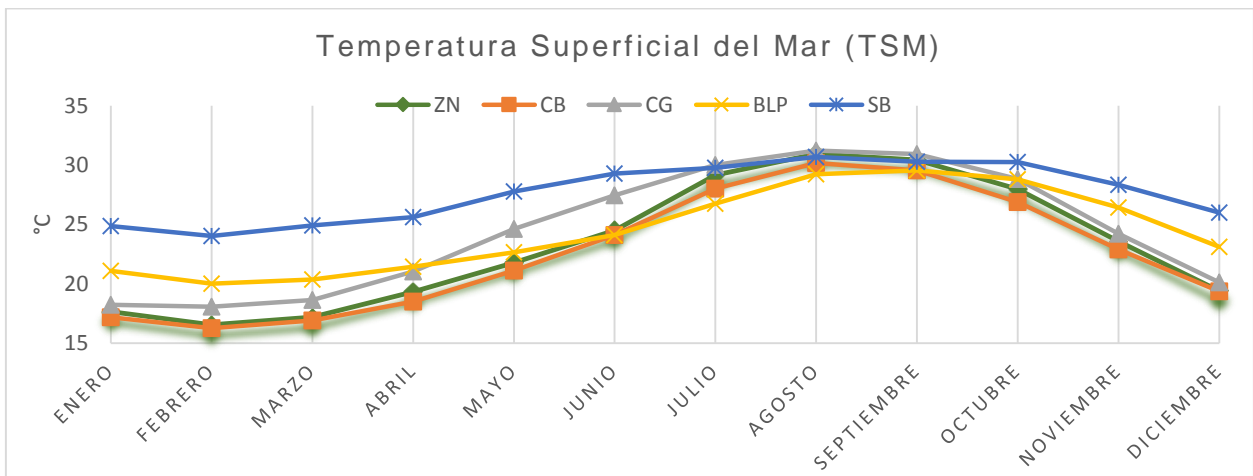


Figura 10. Variación del promedio mensual de la Temperatura Superficial del Mar en los sitios muestreo del Golfo de California.

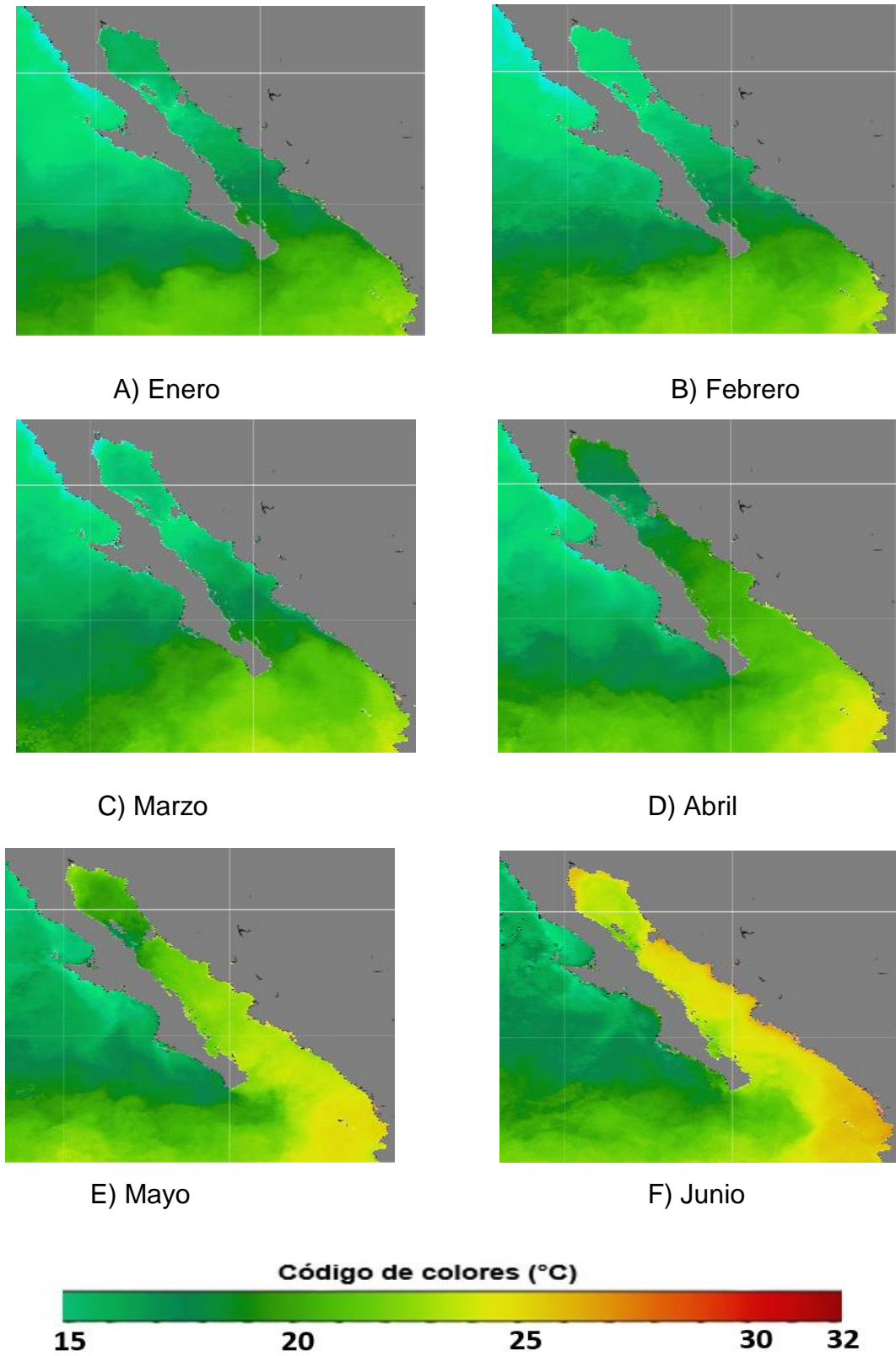
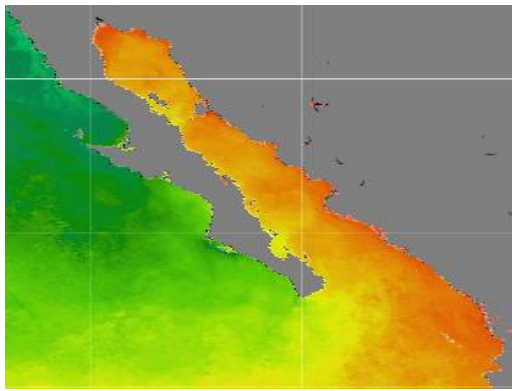
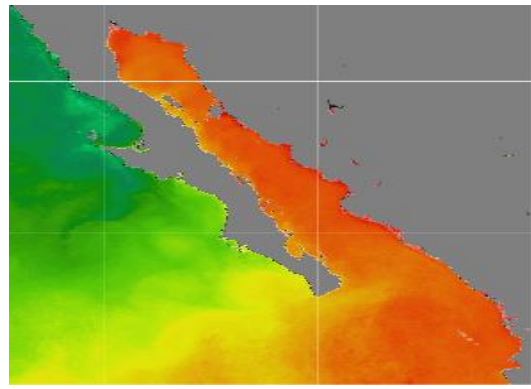


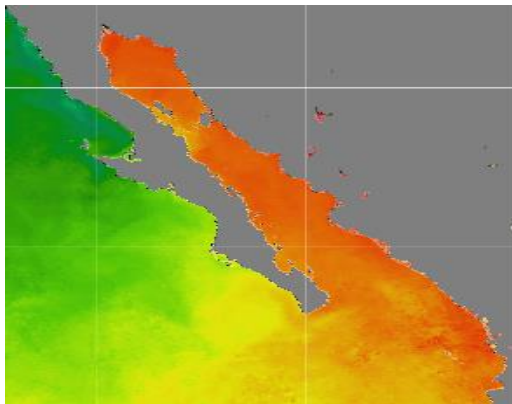
Figura 11. Imágenes satelitales de la TSM mensual del Golfo de California en el año 2013, caracterizado como “Normal” ($\leq \pm 0.05^\circ\text{C}$) por la NOAA para la región del Pacífico Oriental (Fuente: OceanColorWEB).



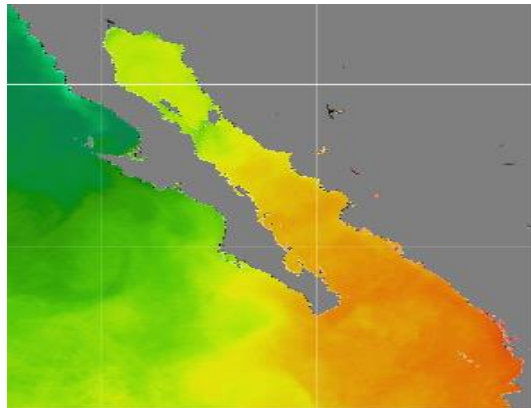
G) Julio



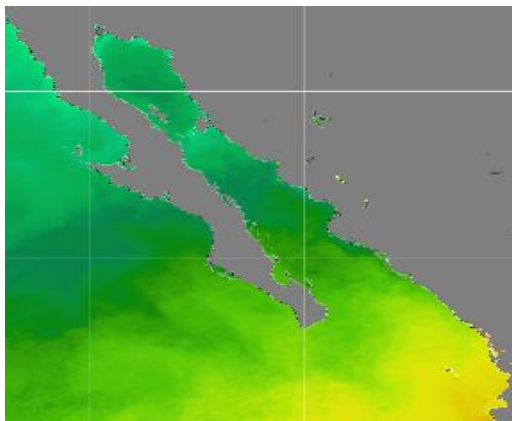
H) Agosto



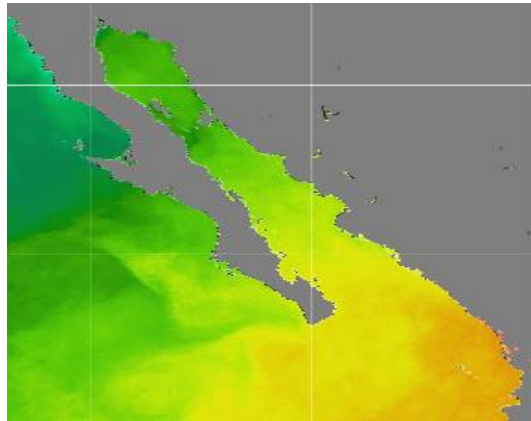
I) Septiembre



J) Octubre



K) Noviembre



L) Diciembre

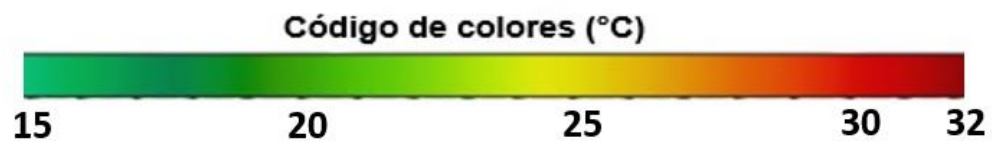


Figura 11. (Continuación) Imágenes satelitales de la TSM mensual del Golfo de California en el año 2013, caracterizado como “Normal” ($\leq \pm 0.05^\circ\text{C}$) por NOAA para la región del Pacífico Oriental (Fuente: OceanColorWEB).

4.4 Velocidad y dirección de corrientes

Las corrientes muestran una variación estacional. En los meses de invierno las corrientes en el Golfo de California mantienen altas velocidades, en la Zona Norte del Golfo las velocidades oscilan entre 15-19 cm/s, en el Canal de Ballenas entre 12-20 cm/s, la Cuenca de Guaymas entre 5-13 cm/s, mientras que Bahía de la Paz de 7-15 cm/s (Tabla 6). Solamente San Blas muestra direcciones contrarias a las estacionales, con velocidades entre 3-6 cm/s.

En los meses de primavera y verano, las corrientes indican velocidades relativamente bajas, la Zona Norte del Golfo oscilaron entre 7-11 cm/s, el Canal de Ballenas entre 7-14 cm/s, mientras que la Cuenca de Guaymas oscilaron entre 4-7 cm/s y Bahía de la Paz oscila entre 4-6 cm/s. En estos meses la dirección de las corrientes indica ser hacia el Norte (Tabla 6). Los resultados que se obtuvieron en este trabajo son similares a los descritos por Lavín y Marinone (2003) y Lavin *et al.* (2014) (Figura 12).

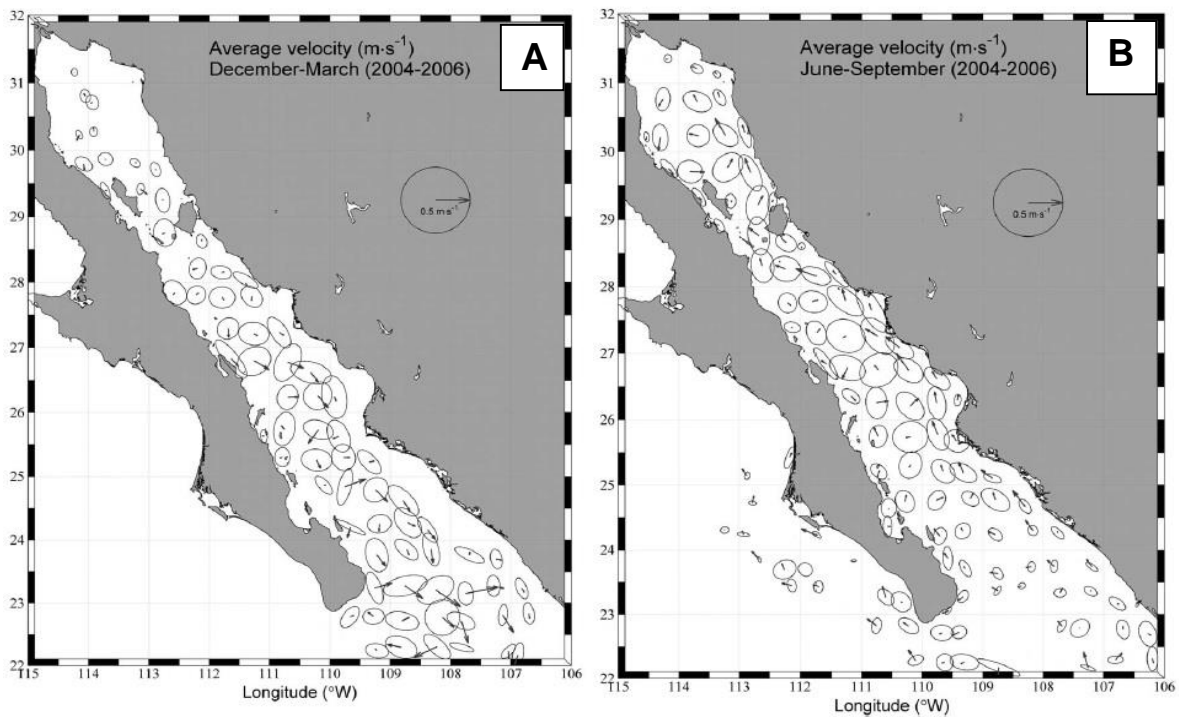


Figura 12. Dirección de las corrientes superficiales A) diciembre a marzo B) junio a septiembre (Tomado de Lavín *et al.*, 2014).

Tabla 6. Promedio mensual de la velocidad y dirección (DIR) de las corrientes del Golfo de California (cm/s), con valores de mínimo y máximo mensual, promedio y desviación estándar de cada sitio.

Mes	ZN	DIR.	CB	DIR.	CG	DIR.	BLP	DIR.	SB	DIR.
enero	19	SE	16	SE	5	SE	15	SE	3	N
febrero	19	SE	20	SE	9	SE	11	SE	6	N
marzo	10	SE	11	SE	6	SE	12	SE	4	N
abril	8	SE	7	SE	7	NE	8	SE	4	NO
mayo	9	NE	12	NO	4	NO	6	NO	6	NO
junio	8	NE	14	NE	7	NO	5	N	10	SE
julio	11	NE	7	N	10	NE	4	NE	14	S
agosto	7	NE	7	N	5	NO	8	NE	13	S
septiembre	8	NE	11	N	6	NE	7	NE	16	SO
Octubre	17	SO	10	SE	13	SE	7	SE	8	S
noviembre	19	SE	12	SE	12	SE	14	SE	4	N
diciembre	15	SE	12	SE	8	SE	14	SE	5	N
Mínimo	7		7		4		4		3	
Máximo	19		20		13		15		16	
Promedio	12		11		8		9		8	
DE	5		4		3		4		4	
Promedio	10±2									

4.5 Concentración de Clorofila

La concentración de clorofila presenta diferencias estacionales; en los meses de primavera y otoño se mantienen las máximas concentraciones de clorofila; en primavera, las concentraciones de clorofila mantienen entre 1.6-5.2 mg/m³; mientras que en otoño indican valores de 1.3- 2.9 mg/m³. Por otra parte, en los meses de verano e invierno las concentraciones disminuyen, oscilando entre 0.3 -2 mg/m³ (Figura 13).

Se observa también una variación local, en Bahía de La Paz y la Cuenca de Guaymas las concentraciones oscilan entre 0.2-2.1 mg/m³, con valores máximos de diciembre a abril de 1-2.1 mg/m³. En San Blas entre 0.6-1.6 mg/m³, mientras que en el Canal de Ballenas y la Zona Norte las concentraciones se encuentran entre 0.3-5.2 mg/m³, con valores máximos de febrero a junio y de septiembre a noviembre oscilando entre 1.43-5.9 mg/m³. El Canal de Ballenas y la Zona Norte del Golfo fueron los sitios con mayores

valores de concentraciones de clorofila, teniendo un promedio anual de 1.35 mg/m³ y 2.8 mg/m³ respectivamente (Figura 13).

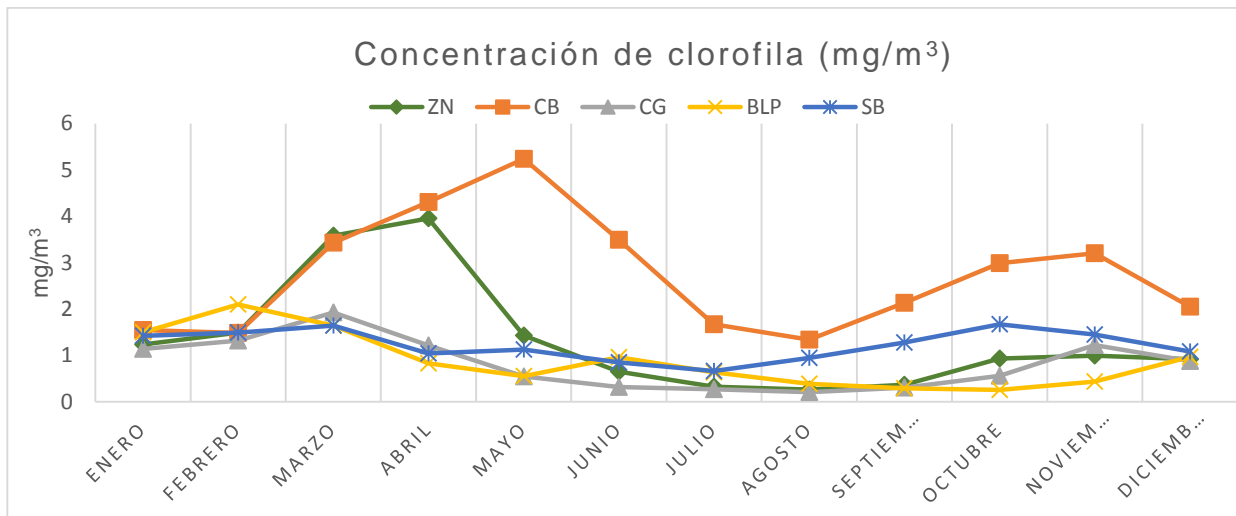


Figura 13. Valores del promedio mensual de la concentración de clorofila en los sitios de muestreo a lo largo del ciclo anual.

Tabla 7. Promedio mensual de la concentración de clorofila, con valor mínimo, máximo y promedio del periodo 2009-2013.

Meses	ZN	CB	CG	BLP	SB
enero	1.24	1.55	1.14	1.50	1.42
febrero	1.50	1.49	1.32	2.10	1.49
marzo	3.58	3.43	1.93	1.65	1.65
abril	3.96	4.31	1.22	0.83	1.04
mayo	1.43	5.24	0.55	0.56	1.12
junio	0.65	3.50	0.32	0.96	0.85
julio	0.33	1.68	0.27	0.64	0.66
agosto	0.27	1.34	0.21	0.39	0.95
septiembre	0.37	2.14	0.31	0.29	1.28
octubre	0.93	2.99	0.56	0.26	1.67
noviembre	0.99	3.20	1.22	0.44	1.45
diciembre	0.92	2.05	0.88	0.97	1.08
mínimo	0.27	1.34	0.21	0.26	0.66
máximo	3.96	5.24	1.93	2.10	1.67
promedio	1.35	2.74	0.83	0.88	1.22

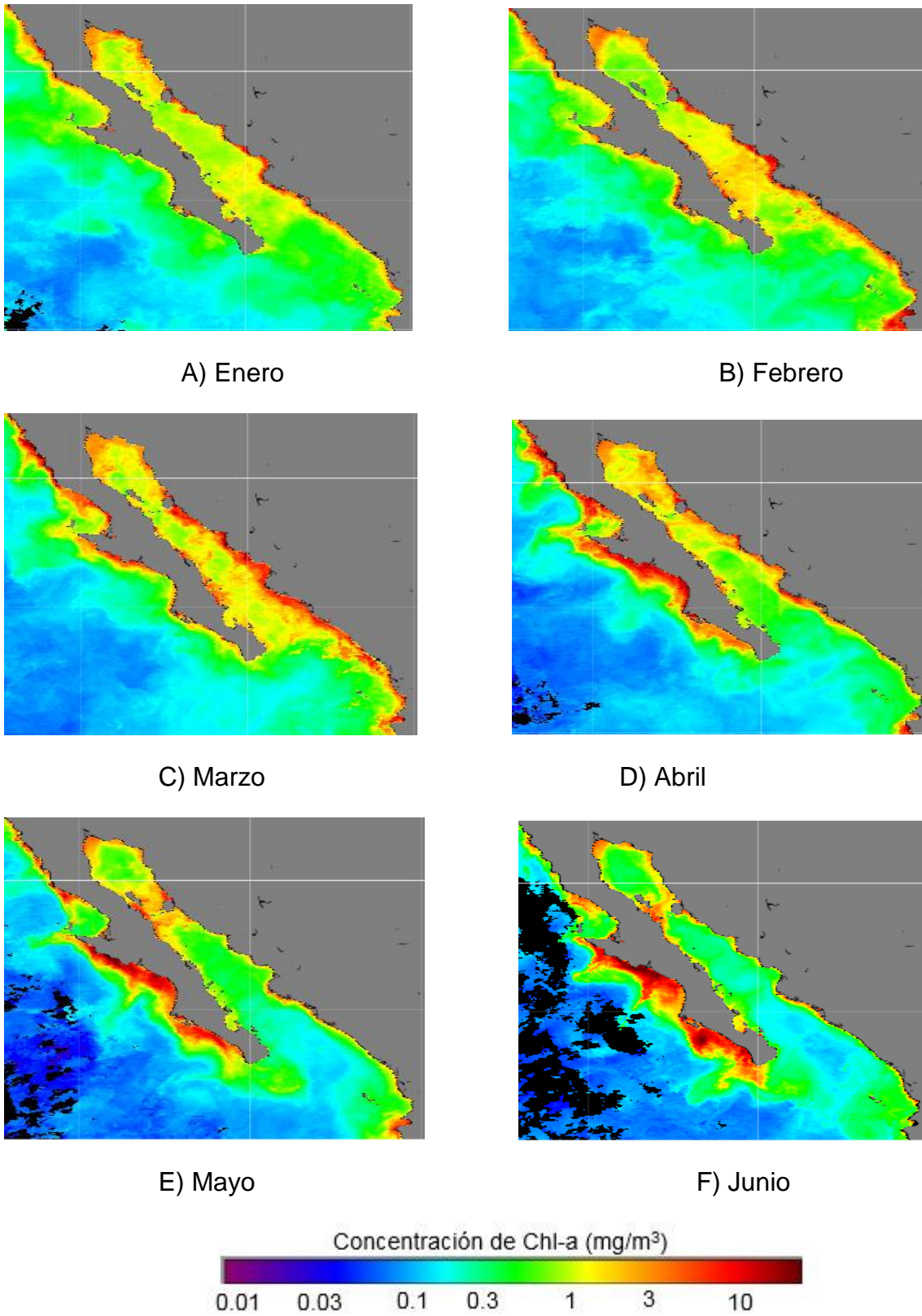
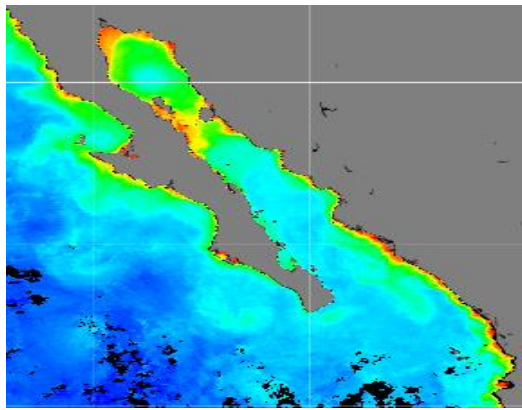
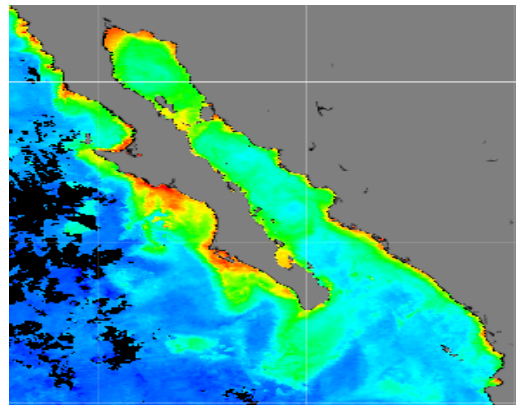


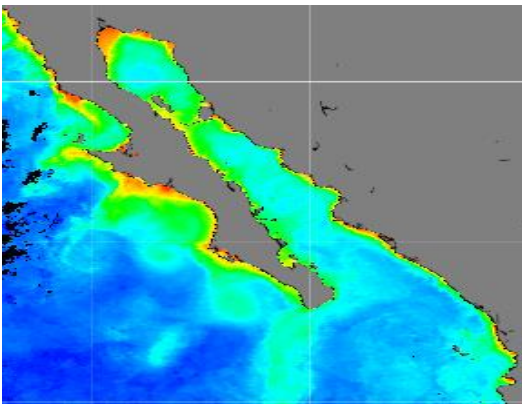
Figura 14. Imágenes satelitales de la concentración de clorofila mensual del Golfo de California año 2013, caracterizado como “Normal” ($\pm 0.05^\circ\text{C}$) por la NOAA, para la región del Pacífico Oriental (Fuente: OceanColorWEB).



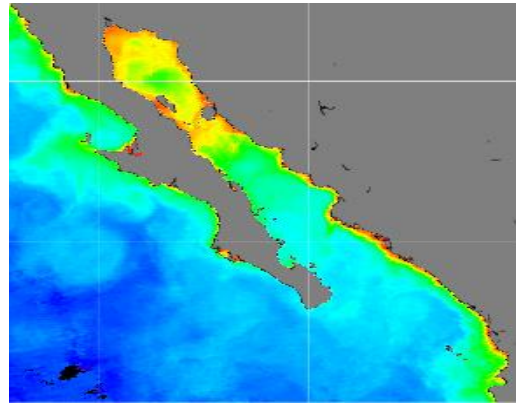
G) Julio



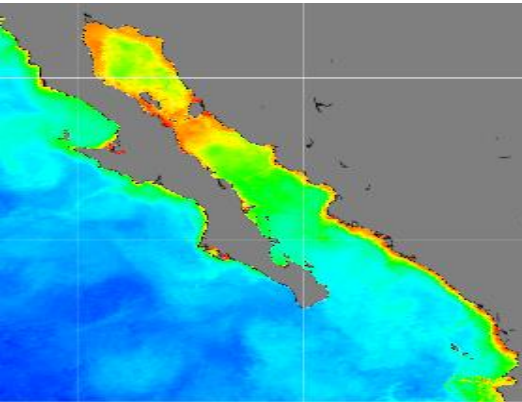
H) Agosto



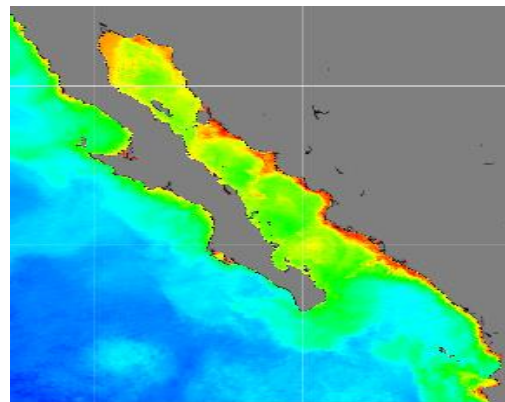
I) Septiembre



J) Octubre



K) Noviembre



L) Diciembre



Figura 14. (Continuación). Imágenes satelitales de la concentración de clorofila mensual del Golfo de California año 2013, caracterizado como “Normal” ($\leq \pm 0.05^\circ\text{C}$) por la NOAA, para la región del Pacífico Oriental (Fuente: OceanColorWEB).

4.6 Variables ambientales y su relación con la abundancia relativa de *R. typus*

Para conocer la relación que existe entre las variables ambientales y la presencia de *R. typus* en Bahía de los Ángeles se realizó un Modelo Lineal Generalizado (MLG), en el cual, se colocó como variable de respuesta la AR de *R. typus* y como variables exploratorias las variables ambientales del Canal de Ballenas, las cuales fueron: velocidad y dirección del viento, concentración de clorofila, velocidad y dirección de las corrientes y TSM.

Antes de desarrollar el MLG se realizó un análisis de correlación entre las variables ambientales (variables de respuesta) para conocer si existía correlación entre ellas, se tomó en cuenta una correlación cuando las variables presentaban valores ≥ 0.5 (Tabla 8)

Tabla 8. Análisis de correlación entre las variables ambientales del Canal de Ballenas.

Variable	Clorofila	TSM	Dir. Corr	Vel. Corr	Dir. Viento	Vel. Viento
Clorofila	1					
TSM	-0.15	1				
Dir. Corriente	0.20	-0.46	1			
Vel. Corriente	-0.10	-0.37	0.11	1		
Dir. Viento	0.21	-0.56	0.62	0.21	1	
Vel. Viento	0.25	-0.60	0.18	0.13	0.37	1

Debido a las altas correlaciones entre la TSM con velocidad y dirección del viento; y la dirección de la corrientes con viento se prosigió a realizar diferentes combinaciones en los MLG, de los cuales el modelo seleccionado como representativo tomando en cuenta la devianza y el valor de Akaike fue:

AR de *R. typus* = TSM + Concentración de clorofila + Dirección de la corriente + Velocidad de la corriente.

Tabla 9. Modelo Lineal Generalizado de AR de *R. typus* y TSM, concentración de clorofila, dirección y velocidad de la corriente.

	Coeficiente	Error estandar	Valor de Z	Prob. ($< Z $)
Intercepto	-5.574	1.392	-4.003	$p < 0.05$
TSM	0.219	0.041	-4.003	$p < 0.05$
Concentración de clorofila	0.069	0.100	0.695	0.487
Dirección de la corriente	-0.014	0.071	-0.203	0.890
Velocidad de la corriente	0.367	2.656	0.138	0.890

AIC:128.4

Devianza: 55.87

El MLG nos indica que existe el intercepto y que la variable Temperatura Superficial del Mar (TSM) es representativa en la AR de *R. typus*, con una devianza explica del 55.87% y un valor de Akaike de 128.4 (Tabla 9). A través de la serie de tiempo de la TSM y la AR de *R. typus* en Bahía de los Ángeles del 2009-2013 (Figura 15) se puede observar una aparente preferencia de *R. typus* a temperaturas entre 22-31°C. En los meses de agregación (junio a noviembre) los valores de TSM fueron las mayores de la región; oscilando entre 22-31°C, mientras que en meses de ausencia (diciembre a mayo) la TSM oscilo entre 16.5-21°C.

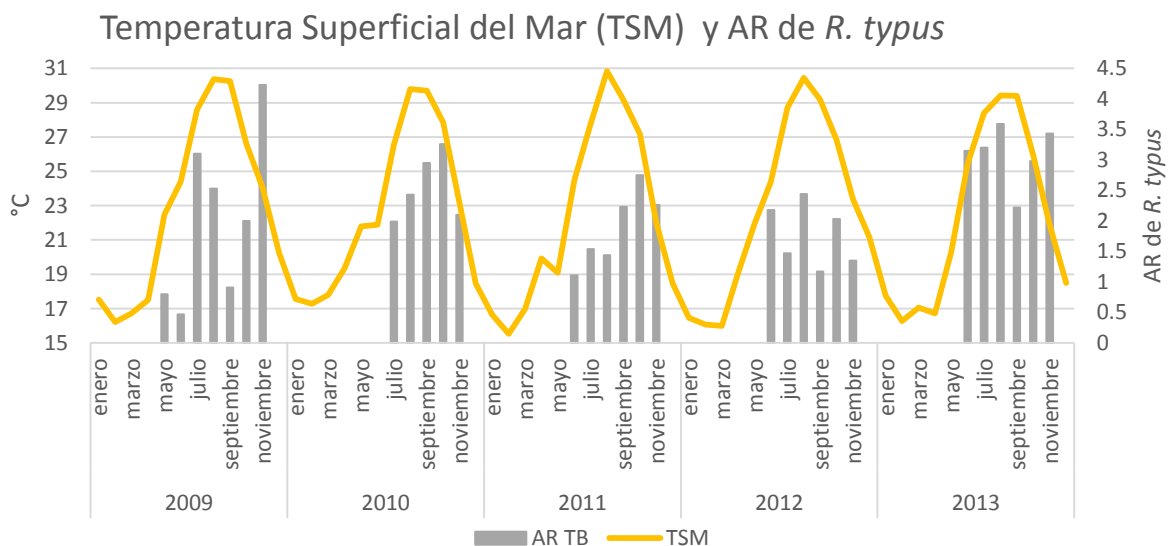


Figura 15. Serie de tiempo de la TSM y la abundancia relativa mensual de *R. typus* en Bahía de los Ángeles, periodo 2009-2013.

4.7 Concentración de clorofila y corrientes, como influyen en abundancia relativa de *R. typus*

Aunque a través del MLG la concentración de clorofila no indicó ser representativa en la AR de *R. typus*, debido a que en las temporadas de presencia y ausencia las concentraciones fueron similares, oscilando entre 0.8-5 mg/m³ y que en los años en los cuales se presentan las mayores cantidades no se observa mayor número de abundancias.

A través de la serie de tiempo de las concentraciones de clorofila con la AR de *R. typus* del 2009-2013 (Figura 16) se observa que en los meses de marzo a abril, meses previos a la presencia de tiburones, se presentan las máximas concentraciones de clorofila, oscilando entre 1.5-6 mg/m³ y llegando a alcanzar hasta de 9.6 mg/m³. La variable concentración de clorofila es un indicador indirecto del recurso alimenticio que se genera en la bahía, la cual nos indica el incremento de recurso alimenticio previo a la llegada de tiburones.

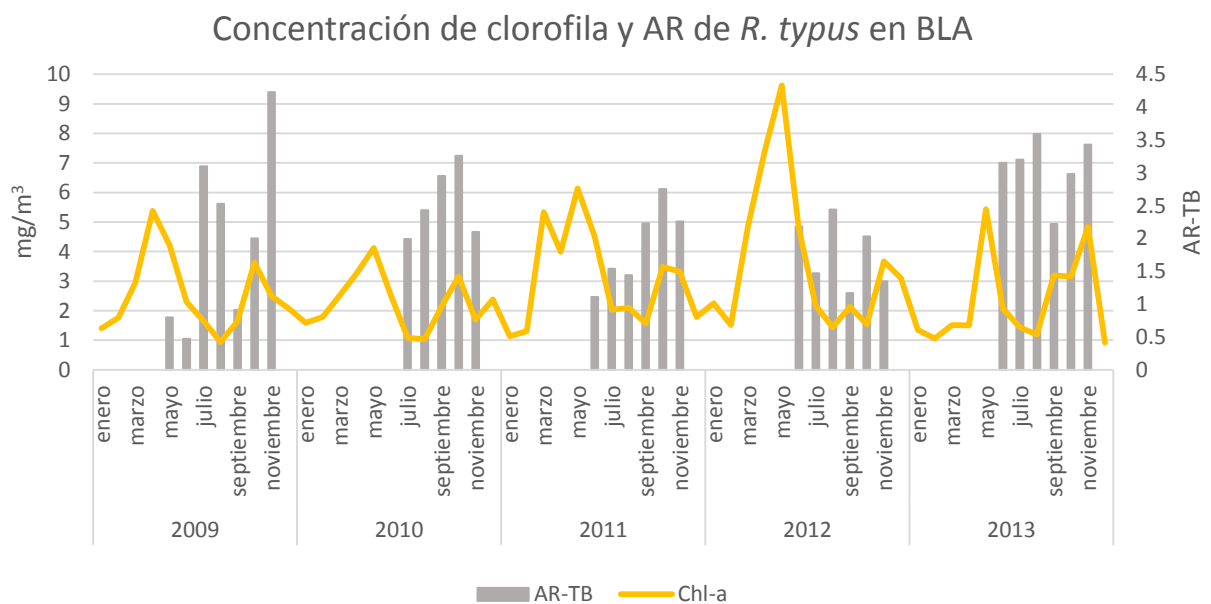


Figura 16. Serie de tiempo de la concentración de clorofila y la abundancia relativa mensual de *R. typus* en Bahía de los Ángeles en el periodo 2009-2013.

Por otra parte, la velocidad y dirección de la corriente tampoco fue una variable representativa en el MLG, sin embargo, a través de la generar la velocidad y dirección de la corriente en un ciclo anual se puede apreciar que en los meses de diciembre a marzo que son meses de ausencia de tiburones, la corriente muestra una clara dirección hacia el Sur (Figura 16), con velocidades ≥ 18 cm/s. También se observa, que en temporada de presencia de *R. typus* (mayo a noviembre) la corriente no se muestra una clara dirección, y sus velocidades se mantienen entre 9-17 cm/s.

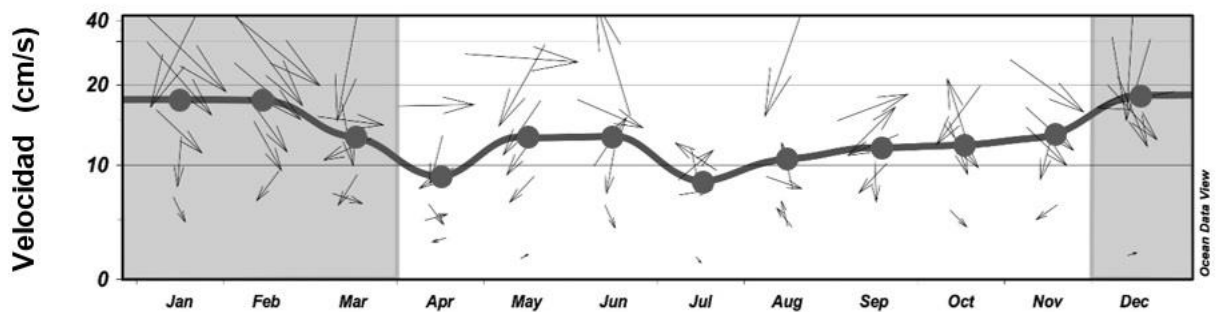


Figura 17. Ciclo anual de la dirección y velocidad de las corrientes geostróficas en el Canal de Ballenas del periodo 2009-2013. La línea negra indica la velocidad promedio de cada mes a lo largo del año. Los meses en fondo blanco son la temporada de presencia de *R. typus* y el fondo gris es la temporada de ausencia.

5. Discusión

5.1 Variación anual del Golfo de California

Durante un ciclo anual el Golfo de California presenta una variación estacional en las variables ambientales. Los vientos del Norte fueron dominantes en primavera, otoño e invierno, mientras que los del Sur-Sureste en los meses de verano. El cambio de dirección en los vientos en los meses de verano promueve la entrada de aguas subtropicales, generando condiciones de tipo tropical en el Golfo de California. Los datos de velocidad y dirección del viento de este estudio tuvieron las mismas direcciones a las reportadas por Amador-Buenrostro *et al.* (1991) y Parés-Sierra *et al.* (2003) aunque con velocidades inferiores, posiblemente esto se debe a que en los tres estudios se utilizan métodos de obtención de datos diferentes. Por ejemplo, Amador-Buenrostro *et al.* (1991) realizaron el estudio a través de modelos numéricos, Parés-Sierra *et al.* (2003) lo realizaron con datos satelitales a una resolución de 12 horas, mientras que en el presente estudio se utilizaron datos satelitales con promedios mensuales. Al momento de trabajar con promedios mensuales estamos perdiendo detalles de la variación diaria y semanal, y por ellos, considerarnos que esta es la principal razón de haber obtenido menores valores en la velocidad del viento.

Las velocidades de las corrientes obtenidas también fueron inferiores a las reportadas en estudios previos enfocados en la circulación del Golfo de California (Lavin y Marinone, 2003; Lavín *et al.*, 2006; Lavin *et al.*, 2014). Por ejemplo; Lavín *et al.* (2006) reportaron corrientes superficiales con velocidades hasta de 80 cm/s, mientras que Lavín *et al.* (2014) obtuvieron velocidades de 60 cm/s y hasta 80 cm/s; ambos estudios indican los valores máximos en los meses de invierno. En el presente estudio se obtuvo una velocidad promedio de 10 ± 2 cm/s, con velocidades hasta de 20 cm/s en invierno. Posiblemente nuestros datos están subestimando las velocidades de las corrientes debido a que se trabajó con promedios mensuales y a través de esta medida estamos perdiendo información detallada de la variación en la velocidad. Lavin y Marinone (2003) y Lavín *et al.* (2014) comentaron que las velocidades máximas que observaron tuvieron

lugar en cuestión de semanas, mismas que nosotros no estamos apreciando debido a la unidad de medida con la cual trabajamos.

En cuanto a la dirección de la corriente, nuestros datos indican direcciones iguales a las reportadas y modeladas para el Golfo de California por Lavin y Marinone (2003) y Lavin *et al.* (2014). La dirección de la corriente mostró una variación estacional, con diferencias ampliamente marcadas entre invierno y verano. En los meses de invierno (diciembre-marzo), la dirección de la corriente mantuvo una dirección Sur-Sureste, con un constante flujo hacia el Océano Pacífico Tropical (Figura 12A); mientras que en verano, las corrientes mantuvieron velocidades hasta de 20 cm/s con dirección Norte, indicando la entrada de agua del Océano Pacífico Tropical al Golfo de California (Figura 12B).

La TSM por su parte, también mostró cambios estacionales. En los meses de invierno la TSM fue relativamente baja, oscilando entre 16 a 23°C, la cual es influenciada por el cambio en la dirección de las corrientes, que mantienen un flujo constante hacia el Océano Pacífico Tropical y a su vez van formando remolinos del lado peninsular del golfo (Figura 11L-11C). Mientras que en los meses de verano (junio-agosto) se presentan temperaturas entre 24-31°C; durante estos meses los sitios de muestreo mantuvieron un flujo de corriente con dirección hacia el Norte (Figura 12B) con velocidades entre 4-10 cm/s y la entrada de agua del Océano Pacífico Tropical al Golfo de California.

Lavin *et al.* (2014) reportaron que las velocidades adquiridas por las corrientes costeras del lado Este en los meses de invierno fueron de 60 cm/s y que pueden llegar a avanzar 1000 Km en 20 días, esta distancia fue recorrida desde la boca hasta la Zona Norte del Golfo de California. Por lo cual ellos indican que estos procesos de altas velocidades en la corriente en un periodo de tiempo corto (semana) puede ser utilizado por especies migratorias para llegar hasta el Alto Golfo de California.

5.1.1 Concentración de clorofila en el Golfo de California

Las concentraciones de clorofila muestran una variación estacional y local, con las máximas concentraciones en los meses de primavera (Figura 14C-14F) y en los sitios: Canal de Ballenas (5-7 mg/m³) y en la Zona Norte (5-6.5 mg/m³) (Tabla 7); mientras que las menores concentraciones se presentan de julio a septiembre (Figuras 13G-13I), posiblemente debido a la fuerte estratificación de la columna de agua que inhibe el intercambio de nutrientes entre aguas profundas y la zona de mezcla. En otoño se observa nuevamente un incremento en las concentraciones de clorofila, las cuales posiblemente se deben al removimiento de nutrientes, que vuelen a incrementar el recurso en la zona de mezcla y suben los niveles de clorofila, aunque en cantidades menores, oscilando entre 1-3 mg/m³.

Los datos obtenidos en este trabajo son similares a los reportados por Alvarez-Borrego (2012) y Escalante *et al.*(2013). Los cuales indican que el Canal de Ballenas mantiene las mayores concentraciones de clorofila anual debido a su dominancia por mareas, que generan condiciones similares a surgencias constantes; en estos datos se obtuvo que el sitio Zona Norte mantuvo condiciones similares al Canal de Ballenas (Figura 13) y fue el segundo sitio con mayores concentraciones de clorofila. Tomando en cuenta que la variable concentración de clorofila es utilizada como una indicadora indirecta de biomasa del fitoplancton; ya que a través del pastoreo ejercido se incrementan las concentraciones de zooplancton, el cual es recurso alimenticio de *R. typus*.

Las altas concentraciones de clorofila previas a la presencia de tiburones, podrían estar indicando que el recurso alimenticio está funcionando como señal de llegada de *R. typus* hacia la bahía (Sleeman *et al.*, 2010). Aunque altas concentraciones no parecen indicar altas abundancias de *R. typus* (Figura 16); en el año 2012, se presentaron las concentraciones máximas de clorofila (9.6 mg/m³), sin embargo fue el año con menores abundancias (1.5±0.5 DE); mientras que en el 2013, las concentraciones de clorofila fueron menores (5.3 mg/m³) y fue el año con mayores abundancias de *R. typus* (2.8± 0.8 DE).

5.2 Variables ambientales y abundancia relativa de *R. typus* en Bahía de los Ángeles

Investigaciones previas que han estudiado la influencia de variables ambientales en la agregación de especies planctívoras, han encontrado una alta relación con la TSM (Sequeira *et al.*, 2012; Rohner *et al.*, 2013) y con comunidades zooplanctónicas o concentraciones de clorofila, como indicadores de alimento (Cárdenas-Palomo *et al.*, 2009; Sleeman *et al.*, 2010). En el presente estudio, obtuvimos que la variable con mayor relación en la abundancia de *R. typus* es la TSM.

La TSM en los meses de agregación de *R. typus* en Bahía de los Ángeles (junio a noviembre) resultaron ser las más altas del año, oscilando entre 22-31°C. La presencia de *R. typus* parece estar desfasada con las máximas temperaturas, en la serie de tiempo de la TSM y la abundancia relativa mensual de *R. typus* (Figura 16) se observa que en la mayoría de los años (2009-2011), después de incrementar las temperaturas se obtienen los valores máximos de abundancia de *R. typus*, que se observan en los meses de octubre y noviembre.

Diversas zonas de agregación alrededor del mundo han documentado la influencia de la TSM en la presencia de *R. typus*, Sequeira *et al.* (2012) en el Océano Índico obtuvieron que la variación en la temperatura fue la que mayor influencia tuvo en la presencia de tiburones, y que el 90% de los avistamientos se dieron en un rango de 24-31°C. Sleeman *et al.* (2007) en el oeste de Australia, observaron que las agregaciones de *R. typus* se da en temperaturas entre 22-32°C. Cárdenas-Palomo *et al.* (2009) en el Caribe mexicano obtuvieron una relación positiva con la temperatura máxima del sitio, la cual oscila entre 18°C-30°C. También, en islas Galápagos se observó su presencia en los meses de julio a diciembre, con temperaturas entre 23-25°C (Acuña-Marrero *et al.*, 2014).

Los estudios antes mencionados muestran rangos de temperatura similares a los obtenidos en el presente trabajo. No solamente *R. typus* es influenciado por la TSM. Se ha observado que otras especies planctívoras como la Manta gigante (*Manta birostris*) y las mantarrayas de arrecife (*Manta alfredi*) son influenciadas principalmente por esta variable (Sleeman *et al.*, 2007; Rowat *et al.*, 2009).

R. typus es un organismo ectotérmico, esto quiere decir, que depende de las condiciones ambientales para mantener su temperatura corporal, por lo cual su distribución se da en aguas tropicales y subtropicales (Compagno, 1984). A través de marcaje satelital se ha observado que el 90% de su tiempo se mantiene en aguas superficiales, menores a 10 m de profundidad (Eckert y Stewart, 2001; Mayorga, 2011). Se ha propuesto que su permanencia en aguas cálidas podría ser un mecanismo de termorregulación, donde la temperatura del mar es fundamental para mantener su temperatura corporal a niveles vitales y llevar a cabo procesos fisiológicos. También se estima que su permanencia en aguas cálidas podría estarle ofreciendo un ahorro energético (Thums *et al.*, 2013).

En el Golfo de California el incremento de la TSM se presenta en los meses de verano, debido a la circulación del viento y la entrada de aguas tropical, las cuales generan condiciones tipo Tropical (Amador-Buenrostro *et al.*, 1991; Lavin y Marinone, 2003; Lavin *et al.*, 2014). Como se muestra en imágenes satelitales (Figura 11) el incremento de la TSM en Golfo de California tiene lugar en primavera y se observa como el incremento de temperatura se presenta primero del lado Este del golfo (San Blas) (Figura 11C), sitio en el cual se intensifican las corrientes costeras que pueden llegar hasta la Zona Norte del Golfo con una velocidad de 6 cm/s con un recorrido de 1000 Km en tan solo 20 días (Lavin *et al.*, 2014). A través de estudios de foto-identificación se ha reportado que algunos tiburones que se presentan en San Blas Nayarit de noviembre-abril (Figura 2) posteriormente se observan en la bahía San Luis Gonzaga de mayo a noviembre, y algunos son posteriormente identificados en Bahía de los Ángeles de junio a noviembre (com. personal Vázquez-Haikin). Posiblemente la generación de condiciones tropicales que se da a lo largo del Golfo de California va generando a su paso condiciones óptimas de alimento y ambientales que van influyendo en el desplazamiento y llegada de *R. typus* a Bahía de los Ángeles.

A través de los datos obtenidos se puede observar que la TSM y las concentraciones de Clorofila fueron similares en los sitios Canal de Ballenas y Zona Norte del Golfo de California, por lo cual, sí las TSM están siendo determinantes en la presencia de *R. typus*, y la Zona Norte muestra condiciones similares, posiblemente *R. typus* podría también estar desplazándose en éste sitios. De hecho, a través de marcas satelitales colocadas

en tiburones localizados en Bahía de los Ángeles de septiembre a octubre, Eckert y Nelson (2007) mostraron que algunos tiburones después de ser marcados se movieron a latitudes superiores de los 30°N dentro del Golfo de California, indicando su presencia en Rio Concepción y San Luis Gonzaga, localizadas en el Alto Golfo de California.

Los cambios de TSM en el Alto Golfo de California se observan primero en la Zona Norte en los meses de abril a junio con temperaturas $>20^{\circ}\text{C}$ (Figura 11D-11F) y posteriormente del lado de la península, donde se ubica Bahía de los Ángeles (Figura 11G-11I). Si tomamos en cuenta el incremento de temperatura a través del golfo, podríamos pensar que *R. typus* se encuentren primero en la Zona Norte y posteriormente en Bahía de los Ángeles. A través de estudios de foto-identificación realizados del 2012 a la fecha, se ha observado que algunos individuos foto-identificados en San Luis Gonzaga son observados posteriormente en Bahía de los Ángeles (com. personal Vázquez-Haikin y Peregrín-Tovar); posiblemente otros sitios del Alto Golfo de California estén siendo utilizados por *R. typus* entre verano y otoño; puesto que esta zona mantiene temperaturas $\geq 20^{\circ}\text{C}$ y altas concentraciones de clorofila; sin embargo, se necesita realizar más monitoreos, estudios de foto-identificación y de telemetría satelital para confirmar esta idea.

En los meses de invierno (diciembre-febrero), cuando los vientos dominantes son del Norte, hay temperaturas bajas e incrementa la velocidad de la corriente con dirección Sur (Marinone et al., 2009; Lavin et al., 2014). Los sitios Zona Norte y Canal de Ballena presentan una drástica disminución de temperatura, de hasta 4°C (Tabla 6), mismos meses en los cuales se dan los últimos avistamientos de tiburones en San Luis Gonzaga y Bahía de los Ángeles (Figura 2). A través de marcas satelitales se ha observado que los tiburones después de abandonar la bahía se mueven con dirección al Sur (Eckert y Stewart, 2001; Mayorga, 2011), incluso algunas marcas han registrado su salida del Golfo de California. Puede ser que la disminución en la TSM y el incremento en la velocidad de las corrientes hacen a Bahía de los Ángeles un lugar hostil para permanecer en él, y estas condiciones ambientales indiquen su salida de la bahía. Hasta el momento se desconoce si siguen una ruta migratoria al momento de abandonar la bahía, debido a que las marcas satelitales se han perdido en la trayectoria corta (meses).

Los datos que se obtuvieron en este trabajo sobre la velocidad de la corriente indican valores máximo 27 cm/s; sin embargo, estudios previos en los cuales obtuvieron datos *in situ* de las corrientes generadas en verano (junio-septiembre) muestran que tienen una velocidades de 60 cm/s y llegan a alcanzan velocidades hasta de 80 cm/s (Lavin *et al.*, 2014). Sí tomamos en cuenta que la velocidad promedio de *R. typus* es de 1km/h = 20 cm/s (Sequeira *et al.*, 2013) y conociendo que individuos dentro del Golfo de California se han movido a velocidades promedio de 20 cm/s (Eckert y Stewart, 2001; Mayorga, 2011), podríamos considerar que *R. typus* si este aprovechando la dirección y condiciones de la corriente. Sin embargo, en nuestros datos las velocidades de las corrientes oscilan entre 8-20 cm/s, con una velocidad promedio de 10 ± 2 cm/s, siendo inferiores a las mostradas por Lavín *et al.* (2006; 2014) siendo también inferiores a la velocidad promedio de *R. typus*.

Debido a las bajas velocidades obtenidas, no podemos apoyar la idea de que *R. typus* está aprovechando las corrientes como un apoyo en su desplazamiento dentro del golfo, aprovechando las corrientes como un medio de ahorro de energía y así poder llegar a zonas de alimentación. Nuestros datos se encuentran más relacionados con los obtenidos por Sleeman *et al.* (2010) que comparando la velocidad de las corrientes del Noroeste del Océano Indico con las de *R. typus* obtuvieron mayores velocidades por parte de los tiburones (1-3 km/h) que por las corrientes (0.22-0.51 km/h). Por lo cual, ellos comentan que sus datos no muestran evidencia de que la corriente estén siendo un mecanismo de dispersión utilizado por *R. typus* en el Noroeste del Océano Indico. Sí consideramos que los datos utilizados fueron obtenidos a través de promedios mensuales, en los cuales perdemos información de las velocidades diurnas y semanales, que disminuye la velocidad realidad del Golfo de California; y nos basamos en la literatura como Lavín *et al.* (2006; 2014), podríamos pensar que la velocidad de las corrientes sí puede influir en el desplazamiento de *R. typus* dentro del golfo y agregación en Bahía de los Ángeles; tal como se ha propuesto para el océano Pacífico Occidental (Iwasaki, 1970; Sleeman *et al.*, 2010). A pesar de no haber obtenido una relación positiva con la agregación de tiburones consideramos conveniente seguir tomando en cuenta esta variable, debido a que es posible que incrementando el número de muestreo y/o la fuente de información esta velocidad sí sea representativa.

5.3 Concentraciones de clorofila y abundancia relativa de *R. typus*

La concentración de clorofila no fue un parámetro representativo en el MGL, posiblemente el uso de concentración de clorofila como indicador de productividad primaria no es una buena aproximación estadística para determinar la biomasa zooplanctónica (Rowat *et al.*, 2009), debido a las diferencias en tiempo que existen entre ellas. Sin embargo, a través de la serie de tiempo entre concentración de clorofila y AR de *R. typus* (Figura 16), podemos notar que el incremento de las concentraciones de clorofila inician semanas antes a los primeros avistamientos de tiburones en la bahía. Cabe destacar que en la mayoría de los avistamientos los tiburones se han observado alimentándose (Hacohe-Domene *et al.*, 2006; Eckert y Nelson, 2007; Peregrin-Tovar, 2014).

El recurso de alimento es de las variables ambientales más relacionadas con la presencia de elasmobranquios planctívoros en diversas zonas de agregación. En arrecife Ningaloo en Australia, Taylor (1996) observó que las agregaciones anuales de tiburones coincidían con el desove de corales, el cual produce elevados niveles de zooplancton y parece ser utilizado por los tiburones como alimento. Para el Caribe Mexicano Cárdenas-palomo *et al.* (2009) concluyeron que las características físicas de la zona incrementaban la productividad del lugar, lo cual explica la presencia espacio-temporal de *R. typus*, y que posiblemente esta zona es utilizada como área de forraje, tal como lo piensa para las costas de Belice (Heyman, 2001) y en el Golfo de México (Hoffmayer *et al.*, 2007). Sims *et al.* (2003; 2005) también han sugerido que los movimientos del tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*) en el Océano Pacífico parece estar relacionado a la abundancia del zooplancton.

Lavaniegos *et al.* (2012) en Bahía de los Ángeles propusieron una hipótesis sobre como los vientos de invierno y primavera (con dominancia Norte-Noroeste), incrementan el acarreo de nutrientes dentro de Bahía de los Ángeles que promueve el crecimiento del fitoplancton, que posteriormente es consumido a través del pastoreo por el zooplancton; debido a la falta de predadores el fitoplancton mantiene un crecimiento exponencial que

se mantienen hasta la llegada de *R. typus* (mayo-junio), puesto que es aprovechado por los tiburones como recurso alimenticio. Esta idea fue compartida por Hernández-nava y Álvarez-Borrego (2013), donde realizando estudios sobre la abundancia de zooplancton en Bahía de los Ángeles y observaron un crecimiento exponencial meses previos a la presencia de *R. typus*.

Rohner *et al.* (2014) en las costas de Mozambique observaron que la presencia de *R. typus* se encontraba relacionada a las corrientes costeras, las cuales generan surgencias e incrementan la productividad zooplanctónica. En el Golfo de California las corrientes costeras tienen una variación estacional y local, en los meses de primavera se observan las mayores concentraciones de clorofila del lado continental (Figura 14C-14F), y en los meses de verano se van extendiendo hasta el Alto Golfo de California, siendo más intenso en la parte de las Grandes Islas (Figura 14G-14I). La intensidad de las surgencias y el incremento de la biomasa zooplanctónica puede estar siendo una señal oceanográfica física y biológica que sigue *R. typus* a lo largo del Golfo de California que le indican la disponibilidad de alimento y puede ser una señal de agregación en Bahía de los Ángeles (Eckert y Nelson, 2007).

6. Conclusiones y recomendaciones

- ❖ Las condiciones del Golfo de California en los meses de primavera y verano, con incremento en las concentraciones de clorofila, entrada de masas de agua provenientes del Océano Pacífico Tropical y aumento en la Temperatura Superficial del Mar generan un ambiente tipo tropical que parece ser aprovechado por *R. typus*.
- ❖ La Temperatura Superficial del Mar es la variable con mayor influencia en la presencia de *R. typus* en Bahía de los Ángeles, con una devianza explicada del 55% y una aparente preferencia a temperaturas entre 22 a 31°C.
- ❖ El incremento en la concentración de clorofila en los meses de primavera, previas a la presencia de tiburones, podrían ser una señal de recurso alimenticio que influye en la agregación de *R. typus* en Bahía de los Ángeles.
- ❖ No se encontró evidencia suficiente de que los tiburones estén utilizando el flujo de corriente como un medio de transporte. Sin embargo, se recomienda seguir considerando esta variable y utilizar datos a menor escala para apreciar las variaciones semanales.
- ❖ Se recomienda complementar los monitoreos realizados en Bahía de los Ángeles con el uso de Drones, para contar con información aérea y poder obtener un índice de abundancia relativa más robusto. Estas herramientas, podría ser realizada posteriormente en diversos sitios del Golfo de California
- ❖ Se recomienda incrementar los monitoreo en el Golfo de California, principalmente en el Alto Golfo, debido a que los niveles de concentraciones de clorofila y Temperatura Superficial del Mar fueron similares a los obtenidos en Bahía de los Ángeles; por lo cual, posiblemente *R. typus* se encuentre también en estas zonas.

- ❖ Se recomienda continuar con el monitoreo de *R. typus* en Bahía de los Ángeles, y así generar información decadal que nos permita estudiar la influencia de eventos a gran escala, como lo son El Niño, La Niña y el calentamiento global.

Lista de referencias

- Acuña-Marrero, D., Jiménez, J., Smith, F., Doherty, P. F., Hearn, A., Green, J. R., Salinas-de-León, P. (2014). Whale Shark (*Rhincodon typus*) Seasonal Presence, Residence Time and Habitat Use at Darwin Island, Galapagos Marine Reserve. *PLoS ONE*, 9(12), e115946. doi:10.1371/journal.pone.0115946
- Alvarez-Borrego, S. (2007). Oceanografía de la región de las grandes islas. En: Danemann, G. D. y Ezcurra, E. (Eds.) *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad. Línea base, 2007*. (pp. 45–66).
- Alvarez-Borrego, S. (2012). Phytoplankton biomass and production in the Gulf of California: a review. *Botánica Marina*, 55(2), 119–128.
- Álvarez-Borrego, S. (2002). Physical Oceanography. In D. G. & E. E. (Eds.), *A new island biogeography of the Sea of Cortés* (p. 41). México.
- Amador-Buenrostro A., Serrano-Guzmán S., A.-E. M. (1991). Modelo numérico de la circulación inducida por el viento en Bahía de los Ángeles, BC, México. *Ciencias Marinas*, 17(3), 39–57.
- Avery T. E y Berlin, G. (1992). *Fundamentals of Remote Sensing and airphoto interpretation* (A. Thomas y G. Berlin, Eds.). Canada: Naturelles Ressources Canada.
- Beier, E. (1997). A Numerical Investigation of the Annual Variability in the Gulf of California. *Journal of Physical Oceanography*, 27, 615–632.
- Bray, N. A. (1988). Thermohaline circulation in the gulf of California. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978-2012), 93 (C5), 4993-5020.
- 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. *International Journal of Tropical Biology and Conservation*, 58(1).
- CITES. (2002). Inclusion of the whale shark (*Rhincodon typus*) in Appendix II of CITES. Retrieved from www.cites.org/eng/cop/12/prop/E12-P35.pdf
- Clark, E. y Nelson, D. R. (1997). Young whale sharks, *Rhincodon typus*, feeding on a copepod bloom near La Paz , Mexico. *Journal of Enviromental Biology of Fishes*, 50(1), 63–73.

- Compagno, L. (1984). *Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Part 1. Hexanchiformes to lamniformes.* FAO Fisheries Synopsis No. 125. Vol4, Part. II, FAO, Rome.
- Compagno, L. J. V. (2001). *Sharks of the World: An Annotated and Illustrated Catalogue of Shark Species Known to Date. Part 1. Hexanchiformes to lamniformes.* FAO Fisheries Synopsis No. 125. Vol 5, Part. II, FAO, Rome
- Crawley, M. (2013). Generalized Linear Models. In *The R book* (2^a ed.). John Wiley y Sons. Ucrania (pp.1070).
- Diario Oficial de la Federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas. Especificaciones para su aprovechamiento. (2007).
- Diario Oficial de la Federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. (2010).
- Duffy, C. A. J. (2002). Distribution, seasonality, lengths, and feeding behaviour of whale sharks (*Rhincodon typus*) observed in New Zealand waters. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 36(3), 565–570.
- Eckert, S. A, y Stewart, B. S. (2001). Telemetry and satellite tracking of whale sharks, *Rhincodon typus*, in the Sea of Cortez, Mexico, and the north Pacific Ocean. *Environmental Biology of Fishes*, 60, 299–308.
- Eckert, S., y Nelson, J. (2007). Foraging ecology of whale sharks (*Rhincodon typus*) within Bahía de Los Angeles, Baja California Norte, México. *Fisheries Research*, 84(1), 47–64.
- Enrique-Andrade R. y Iñiguez Hernandez L. (2004). *Informe final del estudio técnico del PRODERS denominado "Reporte de monitoreo de tiburón ballena en Bahía de los Angeles, B. C., un enfoque participativo."* Ensenada B. C., México 55p.
- Escalante F., Valdez-Holguín J. E., Álvarez-Borrego S., L.-L. J. R. (2013). Temporal and spatial variation of sea surface temperature, chlorophyll a, and primary productivity in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 39 (2), 203–215.
- Gleiss, A. C., Wright, S., Liebsch, N., Wilson, R. P. y Norman, B. (2013). Contrasting diel patterns in vertical movement and locomotor activity of whale sharks at Ningaloo Reef. *Marine Biology*, 160(11), 2981–2992.
- Graham, R. T., Roberts, C. M., y Smart, J. C. R. (2006). Diving behaviour of whale sharks in relation to a predictable food pulse. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 3(6), 109–116.

- Guisan, A., Edwards, T. C. y Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene. *Ecological Modelling*, 157(2-3), 89–100.
- Hacohen-Domene, A, Galvan-Magana, F., y Ketchum-Mejia, J. (2006). Abundance of whale shark (*Rhincodon typus*) preferred prey species in the southern Gulf of California, Mexico. *Cybiurn*, 30(4), 99–102.
- Hernández-Nava, M. F. y Álvarez-Borrego, S. (2013). Zooplankton in a whale shark (*Rhincodon typus*) feeding area of Bahía de los Ángeles (Gulf of California). *Revista Hidrobiológica*, 23(2), 198–209.
- Heyman, W., Graham, R., Kjerfve, B. y Johannes, R. (2001). Whale sharks *Rhincodon typus* aggregate to feed on fish spawn in Belize. *Marine Ecology Progress Series*, 215, 275–282.
- Hoffmayer, E., Franks, J., Driggers, W., Oswald, K. y Quattro, J. (2007). Observations of a feeding aggregation of whale sharks, *Rhincodon typus*, in the north central gulf of Mexico. *Gulf and Caribbean Research*, 19(2) 69.
- Hsu, H. H., Joung, S.-J., Hueter, R. y Liu, K.-M. (2014). Age and growth of the whale shark *Rhincodon typus* in the northwestern Pacific. *Marine and Freshwater Research* 65(12), 1145–1154.
- Hueter, R., Parra, R. de la, Tymisky, J., Trigo-Mendoza, M., Simpfendorfer, C., Gonzales-Cano, J., ... Perez-Ramirez, J. (2007). *Biological studies of the whale shark aggregation off Isla Holbox and Isla Contoy, where the gulf of Mexico meets the Caribbean sea.*
- IUCN. (2013). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2. Retrieved from www.iucnredlist.org
- Iwasaki (1970). On the distribution and environment of the whale shark, *Rhincodon typus*, in skipjack fishing grounds in the western Pacific Ocean. *Journal of the College of Marine Science and Technology*, 57.
- Joung, S., Chen, C., Clark, E., Uchida, S. y Huang, W. Y. P. (1996). The whale shark, *Rhincodon typus*, is a livebearer: 300 embryos found in one megamamma's uterine. *Environmental Biology of Fishes* 46(3), 219–223.
- Ketchum, J. T., Galván-Magaña, F. y Klimley, a. P. (2012). Segregation and foraging ecology of whale sharks, *Rhincodon typus*, in the southwestern Gulf of California. *Environmental Biology of Fishes*, 96(6), 779–795.
- Ketchum, M. (2003). *Distribución espacio-temporal y ecología alimentaria del tiburón ballena (Rhincodon typus) en la Bahía de La Paz y zonas adyacentes en el suroeste del Golfo de California.* Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Politécnico Nacional 80p.

- Lavaniegos, B., Heckel, G., Ladron de Guevara, P. (2012). Variación estacional de copépodos y cladóceros de bahía de los Ángeles (Golfo de California) e importancia de *Acartia clausi* como alimento del tiburón ballena, *Ciencias marinas* 38 (1ª), 11–30.
- Lavín, M., Castro, R., Beier, E., Cabrera, C., Godínez, V. y Amador-Buenrostro, A. (2014). Surface circulation in the Gulf of California in summer from surface drifters and satellite images (2004-2006). *Geophysical Research: Oceans*, 4278–4290.
- Lavín, M. F., Beier, E., Gómez-Valdés, J., Godínez, V. M. y García, J. (2006). On the summer poleward coastal current off SW México. *Geophysical Research Letters*, 33, 2–5.
- Lavín, M. F. y Marinone, S. G. (2003). An overview of the physical oceanography of the gulf of California. *Journal of Geophysical Fluid Dynamics*, (pp. 173-204). Springer Netherlands.
- Marinone, S. G., González, J. I. y Figueroa, J. M. (2009). Prediction of currents and sea surface elevation in the Gulf of California from tidal to seasonal scales. *Environmental Modelling and Software*, 24, 140–143.
- Marshall, A. D. y Pierce, S. J. (2012). The use and abuse of photographic identification in sharks and rays. *Journal of Fish Biology*, 80, 1361–1379.
- Martin, R. A. (2007). A review of behavioural ecology of whale sharks (*Rhincodon typus*). *Fisheries Research*, 84(1), 10–16.
- Mayorga, M. (2011). *Patrones en los movimientos horizontales y verticales del tiburón ballena (Rhincodon typus) y su relación a variables oceanográficas*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada. 76p.
- Montgomery, J. C. y Walker, M. M. (2001). Orientation and navigation in elasmobranchs: which way forward?. In *The behavior and sensory biology of elasmobranch fishes: an anthology in memory of Donald Richard Nelson* (pp. 109-116). Springer Netherlands.
- Nalesso, E. (2014). *Distribución espacio-temporal de los tiburones martillo , Sphyrna lewini , alrededor de la Isla del Coco (2005-2013), Pacífico Tropical Oriental*. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada. 67p.
- Parés-Sierra, A., Mascarenhas, A., Marinone, S. G. y Castro, R. (2003). Temporal and spatial variation of the surface winds in the Gulf of California. *Geophysical Research Letters*, 30(6).
- Peregrín-Tovar, A. (2014). *Bases para la estimación de la Capacidad de Carga Turística y propuestas para su implementación para la actividad de avistamiento de tiburón*

ballena (Rhincodon typus) en Bahía de los Ángeles, B.C. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada. 70 p.

- Polovina, J. J., Kobayashi, D. R., Parker, D. M., Seki, M. P. y Balazs, G. H. (2000). Turtles on the edge: Movement of loggerhead turtles (*Caretta caretta*) along oceanic fronts, spanning longline fishing grounds in the central North Pacific, 1997-1998. *Fisheries Oceanography*, 9(August 1999), 71–82.
- Priede, I. G. y Miller, P. I. (2009). A basking shark (*Cetorhinus maximus*) tracked by satellite together with simultaneous remote sensing II: New analysis reveals orientation to a thermal front. *Fisheries Research*, 95(2-3), 370–372.
- Ramírez-Macías, D., Murillo-Olmeda, R., Luja, V. y Pelayo, G. (2014). Reporte de monitoreo de tiburón ballena en Nayarit, temporada 2013-2014. 15 p.
- Ramírez-Macías, D., Vázquez-Haikin, A. y Vázquez-Juárez, R. (2012). Whale shark *Rhincodon typus* populations along the west coast of the Gulf of California and implications for management. *Endangered Species Research*, 18(2), 115–128.
- Ramírez-Macías, D., Vázquez-Juárez, R., Galván-Magaña, F. y Munguía-Vega, A. (2007). Variations of the mitochondrial control region sequence in whale sharks (*Rhincodon typus*) from the Gulf of California, Mexico. *Fisheries Research*, 84(1), 87–95.
- Ramírez-Pérez, M. (2011). *Estimaciones de abundancia y distribución de tiburón ballena de Bahía de los Ángeles, Baja California*. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California. 56 p.
- Riley, M., Hale, M., Harman, A., y Rees, R. (2010). Analysis of whale shark *Rhincodon typus* aggregations near South Ari Atoll, Maldives Archipelago. *Aquatic Biology*, 8(2008), 145–150.
- Rodríguez-Dowdell, N., Enriquez-Andrade, R. y Cárdenas-Torres, N. (2008). Tiburón ballena. En Danemann, G. D., & Ezcurra, E. (Eds.). *Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad: línea base 2007*. Instituto Nacional de Ecología.
- Rohner, C. A., Couturier, L. I. E., Richardson, A. J., Pierce, S. J., Prebble, C. E. M., Gibbons, M. J. y Nichols, P. D. (2013). Diet of whale sharks *Rhincodon typus* inferred from stomach content and signature fatty acid analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 493, 219–235.
- Rohner, C., Pierce, S., Marshall, A., Weeks, S., Bennett, M. y Richardson, A. (2013). Trends in sightings and environmental influences on a coastal aggregation of manta rays and whale sharks. *Marine Ecology Progress Series*, 482, 153–168.
- Rohner, C., Weeks, S., Richardson, A., Pierce, S. J., Magno-Castro, M., Feldman, G., ... Roberts, M. (2014). Oceanographic influence on a global whale shark hotspot in

- southern Mozambique. *PrePrints*, (2011), 22. Rowat, D., & Engelhardt, U. (2007). Seychelles: A case study of community involvement in the development of whale shark ecotourism and its socio-economic impact. *Fisheries Research*, 84, 109–113.
- Rowat, D., Gore, M., Meekan, M. G., Lawler, I. R. y Bradshaw, C. J. A. (2009). Aerial survey as a tool to estimate whale shark abundance trends. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 368(1), 1–8.
- Santamaría-del-Angel, E., Alvarez-Borrego, S. y Müller-Karger, F. E. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*, 99(C4), 7411–7421.
- SEMARNAT. (2011). *Reporte de la Reserva de la Biosfera Bahía de los Ángeles y Canales de Ballenas y Salsipuedes*. Mexico.
- Sequeira, A. M. M., Mellin, C., Meekan, M. G., Sims, D. W. y Bradshaw, C. J. A. (2013). Inferred global connectivity of whale shark *Rhincodon typus* populations. *Journal of Fish Biology*, 82(2), 367–89.
- Sequeira, A. M. M., Mellin, C., Floch, L., Williams, P. G. y Bradshaw, C. J. A. (2014). Inter-ocean asynchrony in whale shark occurrence patterns. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 450, 21–29.
- Sequeira, A., Mellin, C., Rowat, D., Meekan, M. G. y Bradshaw, C. J. A. (2012). Ocean-scale prediction of whale shark distribution. *Diversity and Distributions*, 18(5), 504–518.
- Sims, D. W. y Merrett, D. A. (1997). Determination of zooplankton characteristics in the presence of surface feeding basking sharks *Cetorhinus maximus*. *Marine Ecology Progress Series*, 158, 297–302.
- Sims, D. W., Southall, E. J., Richardson, a J., Reid, P. C. y Metcalfe, J. D. (2003). Foraging and migratory behaviour of basking sharks over seasonal scales: no evidence for winter hibernation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 248(Priede 1984), 187–196.
- Sims, D. W., Southall, E. J., Tarling, G. A. y Metcalfe, J. D. (2005). Habitat-specific normal and reverse diel vertical migration in the plankton-feeding basking shark. *Journal of Animal Ecology*, 74(4), 755–761.
- Sleeman, J. C., Meekan, M. G., Fitzpatrick, B. J., Steinberg, C. R., Ancel, R. y Bradshaw, C. J. A. (2010). Oceanographic and atmospheric phenomena influence the abundance of whale sharks at Ningaloo Reef, Western Australia. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 382(2), 77–81.
- Sleeman, J. C., Meekan, M. G., Wilson, S. G., Jenner, C. K. S., Jenner, M. N., Boggs, G. S., ... Bradshaw, C. J. A. (2007). Biophysical correlates of relative abundances of

- marine megafauna at Ningaloo Reef, Western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 58(7), 608.
- Sleeman, J. C., Meekan, M. G., Wilson, S. G., Polovina, J. J., Stevens, J. D., Boggs, G. S. y Bradshaw, C. J. A. (2010). To go or not to go with the flow: Environmental influences on whale shark movement patterns. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 390(2), 84–98.
- Speed, C. W. (2006). *An information-theoretic assessment of spot-pattern matching software and its application to population estimates of whale sharks (Rhincodon typus)* (Doctoral dissertation, BS thesis, Charles Darwin University).
- Steven G ., Newbound, W. y . D. R. (2001). Two whale shark faecal samples from Ningaloo reef, Western Australia. *Bulletin of Marine Science*, 68(2), 361–362.
- Taylor, J. (1996). Seasonal occurrence, distribution and movements of the whale shark, *Rhincodon typus* , at Ningaloo Reef, Western Australia. *Marine and Freshwater Research*, 47(4), 637.
- Theberge, M. M. y Dearden, P. (2006). Detecting a decline in whale shark *Rhincodon typus* sightings in the Andaman Sea, Thailand, using ecotourist operator-collected data. *Oryx*, 40(03), 337.
- Thums, M., Meekan, M., Stevens, J., Wilson, S. y Polovina, J. (2013). Evidence for behavioural thermoregulation by the world ' s largest fish Evidence for behavioural thermoregulation by the world ' s largest fish. *Journal of the Royal Society, Interface / the Royal Society*, 10(20120477), 6.
- Vázquez-Haikin, A. (2011). Reporte de monitoreo del tiburón ballena (*Rhincodon typus*) en la Reserva de la Biosfera Bahía de los Ángeles, Canales de Ballenas y de Salsipuedes.
- Wilson, S. G., Taylor, J. G. y Pearce, A. F. (2001). The seasonal aggregation of whale sharks at Ningaloo Reef, Western Australia: currents, migrations and the El Niño/ Southern Oscillation. *Environmental Biology of Fishes*, 61, 1–11.
- Wilson, S., Pauly, T. y Meekan, M. (2002). Distribution of zooplankton inferred from hydroacoustic backscatter data in coastal waters off Ningaloo Reef, Western Australia. *Journal of Marine and Freshwater Research*, 53, 1005–1015.
- Wintner, S. P. (2000). Preliminary study of vertebral growth rings in the whale shark, *Rhincodon typus*, from the east coast of South Africa. *Environmental Biology of Fishes*, 59(4), 441-451.

Anexos

Anexo 1. Comparación de datos de TSM in situ y obtenidos de sensores remotos.

Año	Mes	TSM <i>in situ</i>	Sensor remoto	Diferencia
2009	mayo	21.0	22.5	1.5
	junio	22.8	24.4	1.6
	julio	27.4	28.6	1.2
	Agosto	29.6	30.4	0.8
	septiembre	27.8	30.3	2.5
	octubre	25.6	26.6	1.0
	noviembre	22.1	24.0	1.9
2010	julio	28.4	26.6	-1.8
	Agosto	28.8	29.8	1.0
2011	junio	27	24.5	-2.5
	julio	28.5	27.8	-0.8
	Agosto	29.0	30.8	1.8
	septiembre	29.0	29.2	0.2
	octubre	27.6	27.2	-0.4
	noviembre	21.8	22.0	0.2
2012	junio	24.5	24.4	-0.1
	julio	28.0	28.7	0.7
	Agosto	30.2	30.5	0.2
	septiembre	30.2	29.2	-1.0
2013	junio	25.0	25.4	0.4
	julio	26.0	28.4	2.4
	Agosto	28.6	29.4	0.8
	septiembre	30.1	29.4	-0.7
	octubre	24.4	25.9	1.5
	noviembre	22.0	21.9	-0.1
Promedio				0.46°C

Anexo 2. Fuerza y dirección del viento en BLA. Los años 2009-2010 fueron obtenidos del sensor remoto CCMP (2.1) y los datos de los años 2011-2013 obtenidos de la estación meteorológica del IIO-UABC (2.2).

2.1 Datos del sensor CCMP.

Año	mes	m/s	Dirección
2009	enero	5.87	NO-O
	febrero	3.57	NO-O
	marzo	2.90	NO-O
	abril	2.71	NO-O
	mayo	2.70	NO-O
	junio	2.20	SE-E
	julio	2.01	SE-E
	agosto	1.45	SE-E
	septiembre	0.17	NO
	octubre	2.54	NO
	noviembre	3.40	NO
	diciembre	4.05	NO-O
2010	enero	4.03	NO-O
	febrero	3.51	NO-O
	marzo	3.65	NO-O
	abril	3.64	NO-O
	mayo	3.70	NO-O
	junio	3.00	SE-E
	julio	2.64	SE-E
	agosto	2.02	SE-E
	septiembre	1.81	NO
	octubre	2.96	NO
	noviembre	3.04	NO
	diciembre	2.84	NO-O

2.2 Datos de la estación meteorológica del IIO.

Año	mes	m/s	Dirección
2011	enero	4.11	NO-O
	febrero	4.01	NO-O
	marzo	3.58	NO-O
	abril	4.47	NO-O
	mayo	4.45	NO-O
	junio	3.15	SE-E
	julio	3.04	SE-E
	agosto	3.08	SE-E
	septiembre	2.85	NO
	octubre	3.31	NO
	noviembre	1.87	NO
	diciembre	2.36	NO-O
2012	enero	4.67	NO-O
	febrero	3.70	NO-O
	marzo	3.37	NO-O
	abril	3.61	NO-O
	mayo	3.62	NO-O
	junio	2.78	SE-E
	julio	2.56	SE-E
	agosto	2.18	SE-E
	septiembre	1.61	NO
	octubre	2.94	NO
	noviembre	2.77	NO
	diciembre	3.09	NO-O
2013	enero	4.67	NO-O
	febrero	3.70	NO-O
	marzo	3.37	NO-O
	abril	3.61	NO-O
	mayo	3.62	NO-O
	junio	2.78	SE-E
	julio	2.56	SE-E
	agosto	2.18	SE-E
	septiembre	1.61	NO
	octubre	2.94	NO
	noviembre	2.77	NO