



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Campus Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**Influencia de cuencas hidrográficas exorreicas en la
distribución y permanencia de un depredador tope
Tursiops truncatus, en la zona costera norte veracruzana.**

TESIS

Que para obtener el título de:
**MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y
COSTEROS**

P R E S E N T A:

Biol. Mar. Valeria Peña Mendoza

**Director:
M. en C. Celina Naval Ávila**

**Codirector:
Dr. Arturo Serrano Solis**



Tuxpan, Veracruz

2014

Tuxpan de Rodríguez Cano Veracruz, a Noviembre del 2014

La presente Tesis titulada “**Influencia de cuencas hidrográficas exorreicas en la distribución y permanencia del depredador tope *Tursiops truncatus*, en la zona costera norte veracruzana**” realizada por la C. Biol. Mar. Valeria Peña Mendoza, bajo la dirección particular de la M. en C. Celina Naval Ávila y con la codirección del Dr. Arturo Serrano Solis ha sido aprobada y aceptada para poder llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS



M. en C. Celina Naval Ávila

DIRECTOR

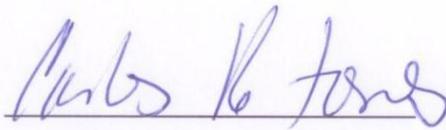


Dr. Arturo Serrano Solis

CODIRECTOR

La presente Tesis titulada “Influencia de cuencas hidrográficas exorreicas en la distribución y permanencia del depredador tope *Tursiops truncatus*, en la zona costera norte veracruzana” realizada por la C. Biol. Mar. Valeria Peña Mendoza, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS



Dr. Carlos Rodolfo Torres Navarrete

LECTOR



Dr. Juan Manuel Pech Canché

LECTOR



Dr. Ascención Capistrán Barradas

LECTOR

Agradecimientos

A mi hijo Héctor Lara Peña, por ser el motor de mi vida y mi razón para continuar.

A mis padres Gabriela Mendoza Orozco y Roberto Peña Pérez, por ser los pilares en mi vida, por su amor y apoyo incondicional. Siempre estaré agradecida y orgullosa de ser su hija.

A mis hermanos y sobrina, por su amor y compañía.

A mis directores Mtra. Celina Naval Ávila y Dr. Arturo Serrano Solís, por su constante apoyo, sugerencias, consejos y regaños. Por ser la guía y motivación en mi vida profesional.

A mis hermanos del alma Sarai, Zayra, Josselyne, Heriberto y Carlos René, por todo su amor y comprensión.

A mis colegas biólogos marinos Ana María, Laura, Ana Laura, Abish, Gabriela, Arturo, Marisol, Itzel, Aldo y Victor. A mis colegas biólogos José Luis y Sarah'ee. A mi compadre médico veterinario Efrain. Por su compañía y abrigo emocional. Gracias por hacer de mi estancia y vida universitaria toda una aventura.

A la familia Lara Arrieta, por su apoyo en el cuidado de mi hijo durante mi estudio de posgrado.

A los académicos que enriquecieron mi trabajo de tesis: Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz, Dr. Ascensión Capistrán Barradas, Dr. Carlos Rodolfo Torres Navarrete y Dr. Juan Manuel Pech Canché.

A la Universidad Veracruzana, CONACyT e IIO, por impulsar mi desarrollo profesional.

Dedicatoria

A mi abuela Esperanza Orozco Moreno, cuyo trabajo y dedicación convirtió a mi madre en la mujer que es mí ejemplo a seguir.

Hijo, observa los pasos que has dado y observa los míos. Tú tienes que superarme y yo me encargare de guiarte.



Lo único constante en este mundo, es el cambio.

ÍNDICE

| | | |
|------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. | ANTECEDENTES..... | 4 |
| III. | OBJETIVOS..... | 12 |
| IV. | ÁREA DE ESTUDIO | 14 |
| V. | MATERIAL Y MÉTODOS | 19 |
| | 5.1. Compilación de datos | 19 |
| | 5.2. Descripción de los datos o variables | 20 |
| | 5.3. Prueba de Normalidad..... | 21 |
| | 5.4. Distribución del delfín nariz de botella en la zona costera marina norte de Veracruz..... | 22 |
| | 5.5. Dinámica poblacional del delfín nariz de botella con respecto a la distancia a la costa y las desembocaduras de las descargas continentales... 23 | |
| | 5.5.1. Distribución espacial | 23 |
| | 5.5.2. Distribución temporal..... | 24 |
| | 5.5.3. Relación espacial de la alimentación y crianza de tursiones hacia las desembocaduras de las descargas continentales. | 25 |
| | 5.6. Influencia de las cuencas hidrográficas en la zona costera marina del norte de Veracruz. | 25 |
| VI. | RESULTADOS..... | 28 |
| | 6.1. Análisis de la distribución del delfín nariz de botella en la zona costera marina norte de Veracruz | 29 |
| | 6.2. Análisis espacio-temporal de la dinámica poblacional del delfín nariz de botella con respecto a la distancia a la costa y desembocaduras | 30 |
| | 6.2.1. Dinámica espacial..... | 32 |
| | 6.2.2. Dinámica Temporal..... | 36 |
| | 6.3. Análisis de la relación espacial de la alimentación y crianza de tursiones hacia las desembocaduras de las descargas continentales. ... | 38 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.4. | Análisis de influencia de las cuencas hidrográficas en la zona costera marina del norte de Veracruz..... | 40 |
| VII. | DISCUSIÓN | 47 |
| 7.1. | Distribución del delfín nariz de botella en la zona costera marina norte de Veracruz | 47 |
| 7.2. | Dinámica espacio-temporal de la población del delfín nariz de botella con respecto a la distancia a la costa y desembocaduras..... | 49 |
| 7.3. | Relación espacial de la alimentación y crianza de tursiones hacia las desembocaduras de las descargas continentales. | 53 |
| 7.4. | Influencia de cinco descargas continentales en la zona costera marina del norte de Veracruz | 55 |
| VIII. | CONCLUSIONES | 64 |
| IX. | APLICACIONES PRÁCTICAS DEL TRABAJO..... | 66 |
| 9.1. | Ajuste de protocolos para avistamientos del delfín nariz de botella, <i>Tursiops truncatus</i> del ecotipo costero. | 66 |
| 9.2. | Propuesta de regionalización ecológica de la zona costera norte de Veracruz usando a los grupos del delfín nariz de botella (<i>Tursiops truncatus</i>) como herramienta de conservación. | 69 |
| X. | BIBLIOGRAFÍA..... | 74 |
| XI. | ANEXOS | 95 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Área de estudio de avistamientos de la población del delfín nariz de botella (<i>Tursiops truncatus</i>) de la Zona Costera Norte de Veracruz (Cuadro rojo). | 15 |
| Figura 2. Estandarización de las distancias entre cada descarga principal por medio de cuadrículas, trazando polígonos con dimensiones de 10x14 celdas de 2x2'. De norte a sur encontramos: la cuenca hidrográfica de la Laguna de Tamiahua, del río Tuxpan, del río Cazones, del río Tecolutla y del río Nautla, con sus respectivas corrientes continentales y sus polígonos. Los puntos amarillos son los sitios de avistamientos de la especie..... | 20 |
| Figura 3. Distribución de los sitios de avistamientos del delfín nariz de botella (<i>Tursiops truncatus</i>) en el área de estudio (cuadro rojo: área de estudio, puntos amarillos: avistamientos de delfines)..... | 29 |
| Figura 4. Comportamiento de los grupos y los individuos del delfín nariz de botella con base en las tasas de ponderación de los mismos, dentro del polígono de la descarga correspondiente. Laguna de Tamiahua (Ta), río Tuxpan (Tu), río Cazones (Ca), río Tecolutla (Te) y río Nautla (Na)..... | 30 |
| Figura 5. Frecuencia de ocurrencia de grupos (Gr) e individuos (Ind) respecto a las desembocaduras de ríos principales (RíoP) y a la costa (Cost). Así como la distancia promedio de los mismos a las bocanas (línea negra continua, 6.9 km) y a la costa (línea negra punteada, 2.3 km). | 31 |
| Figura 6. Relación de la frecuencia de ocurrencia de los grupos y los individuos del delfín nariz de botella con las distancias que alcanzan hacia las desembocaduras dentro de cada kilómetro de distancia hacia la costa. | 32 |
| Figura 7. Movimientos y permanencia de los grupos (a), individuos (b) y tamaño de grupo (c) del delfín nariz de botella asociados a la cercanía a la costa. | 34 |
| Figura 8. Movimientos y permanencia de los grupos (a), individuos (b) y tamaño de grupo (c) del delfín nariz de botella asociados a la desembocadura principal más cercana. | 35 |
| Figura 9. Movimientos y permanencia en temporadas de mayor y menor descarga de los grupos (c, d) e individuos (a, b) del delfín nariz de botella, con respecto a la cercanía de la costa (b, d) y de las desembocaduras continentales (a, c). | 37 |
| Figura 10. Correlaciones de Spearman entre la distancia a la desembocadura y la frecuencia alimenticia y de crías de <i>Tursiops truncatus</i> | 39 |
| Figura 11. Periodograma de la serie temporal de gasto promedio para tres ríos del área de estudio. En el río Tuxpan las frecuencias 1.07, 2, 2.4 y 3.33 representan a | |

los armónicos de más relevantes. En el río Cazones las frecuencias 0.93, 1.33, 2, 2.4 y 3.47 representan a los armónicos más significativos. Las frecuencias indicadoras de los armónicos de mayor amplitud para el río Nautla son 0.93, 2, 3.07 y 4.13..... 44

Figura 12. Periodograma de la serie temporal de concentración de clorofila “a” para tres ríos del área de estudio. En el río Tuxpan las frecuencias 1.07, 2, 2.53 y 3.33 representan a los armónicos de más relevantes. En el río Cazones las frecuencias 1.07, 1.33, 1.73, 2.53 y 3.2 representan a los armónicos más significativos. Las frecuencias indicadoras de los armónicos de mayor amplitud para el río Nautla son 1.07, 2.4, 3.2 y 4. 45

Figura 13. Periodograma de la serie temporal de la productividad primaria para tres ríos del área de estudio. En el río Tuxpan las frecuencias 0.93, 2.4, 2.93 y 3.73 representan a los armónicos máximos. En el río Cazones las frecuencias 0.93, 1.47, 2, 2.93 y 3.87 representan a los armónicos más significativos. Las frecuencias indicadoras de los armónicos de mayor amplitud para el río Nautla con 0.93, 2.13, 2.53 y 4..... 46

Figura 14. Posición de las boyas estacionarias a lo largo de la isobata de 130 m (Modificado de Dubranna *et al.*, 2011). 60

Figura 15. Eventos máximos de corriente superficial media en los meses de septiembre y octubre de la temporada de otoño-invierno y sus respectivas elipses de desviación estándar. Las líneas sólidas representan la intensidad del esfuerzo del viento (Modificado de Dubranna *et al.*, 2011). 61

Figura 16. Croquis de distancias recomendadas para avistamientos exitosos de grupos e individuos del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) del ecotipo costero, con respecto a la costa hasta tres kilómetros y desembocadura de los cuerpos de agua continentales hasta 12 km, en la zona costera del norte de Veracruz. 68

Figura 17. Croquis de Regionalización Ecológica de la zona costera norte de Veracruz (rectángulo rojo). Cada sección sombreada (rosa, naranja, azul, verde y amarillo) corresponde al área de cada cuenca hidrográfica y las circunferencias azules son la amplitud aproximada de las plumas con base en la distribución de los tursiones. 73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Extensión de las sub-cuencas hidrográficas del área de estudio, pertenecientes a la Región Hidrológica 27 Tuxpan-Nautla (Modificado de INEGI, 2010) 16

Cuadro 2. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las variables cuantitativas de total de individuos, total de grupos, distancia a los cuerpos de agua y a la costa. 21

Cuadro 3. Datos de abundancia y tasas a nivel de individual y grupal de *Tursiops truncatus* por cada polígono del área de estudio..... 28

Cuadro 4. Períodos de los armónicos de mayor energía en las series de Fourier de las variables influenciadas por tres cuencas hidrográficas del área de estudio. ... 41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Registro total de grupos, individuos y tamaño de grupo del delfín nariz de botella por intervalos de distancia de un kilómetro a escala de paisaje. 95

Anexo 2. Movimiento temporal de los grupos e individuos del delfín nariz de botella, por intervalos de distancia de un kilómetro de la costa y de la desembocadura de las descargas continentales a escala de paisaje. 96

Anexo 3. Frecuencias de ocurrencia (FO) y frecuencia acumulativa (FA) de la abundancia de grupos e individuos del delfín nariz de botella con respecto a la distancia a la costa y a la desembocadura de descargas continentales en la región. 97

Anexo 4. Registro de grupos, individuos y tamaño de grupo del delfín nariz de botella por intervalos de distancia de un kilómetro a la desembocadura de las descargas continentales (DD) a escala local..... 98

Anexo 5. Registro de crías y eventos alimenticios del delfín nariz de botella por intervalos de distancia de un kilómetro a partir de la desembocadura de descargas continentales (DD) en el sistema..... 99

Anexo 6. Serie de tiempo de promedios mensuales del gasto de la cuenca hidrográfica del río Tuxpan, y de las concentraciones de clorofila “a” y productividad primaria del estuario del río Tuxpan..... 100

Anexo 7. Serie de tiempo de promedios mensuales del gasto de la cuenca hidrográfica del río Cazones, y de las concentraciones de clorofila “a” y productividad primaria del estuario del río Cazones..... 101

Anexo 8. Serie de tiempo de promedios mensuales del gasto de la cuenca hidrográfica del río Nautla, y de las concentraciones de clorofila “a” y productividad primaria del estuario del río Nautla..... 102

Influencia de cuencas hidrográficas exorreicas en la distribución y permanencia de un depredador tope *Tursiops truncatus*, en la zona costera norte veracruzana

Peña-Mendoza, V.

RESUMEN

Las áreas costeras más productivas son las desembocaduras de ríos y lagunas. En la zona costera norte de Veracruz, México, se localizan algunas de las descargas continentales de mayor aporte para el Golfo de México Occidental. En zonas aledañas a las mismas se han registrado una continua fidelidad al sitio y áreas núcleos de la especie *Tursiops truncatus*. Por lo cual, se estudió la relación entre la presencia e influencia de las descargas con los avistamientos de la especie y sus actividades de alimentación y crianza. El efecto de las descargas principales se relacionó con las distancias de los sitios de avistamiento hacia la costa y las bocanas, así como durante las temporadas de mayor y menor descarga. La influencia de la zona costera se calculó a partir de series periódicas de los gastos de tres ríos con la concentración de clorofila "a" y productividad primaria de cada bocana. La dinámica espacio-temporal de los grupos e individuos de la especie mostró una fuerte correlación con las áreas circundantes a las desembocaduras continentales en eventos de mayor escorrentía, así como a la distancia a la costa durante menor escorrentía. Los pulsos máximos de energía de los gastos coincidieron con los de clorofila "a" y con fluctuaciones de productividad primaria. Los resultados indican que las áreas de influencia de las descargas son centros potenciales de distribución de la especie, debido a los máximos aportes durante mayor derrame continental. Por lo cual, la presencia y aporte de los mismos influyen en la selección física del ámbito hogareño de la especie, así como la repartición de recursos del hábitat por los grupos. Las variaciones espacio-temporales de las distancias permiten modificar los protocolos de avistamientos y conectar las características del área de estudio para una regionalización ecológica, usando como objeto de conservación al *Tursiops truncatus*.

Palabras clave: Zona costera, Distancia a desembocaduras, *Tursiops truncatus*, Mayor descarga, Aporte continental, Distribución y Permanencia.

I. INTRODUCCIÓN

La zona costera es el área de transición que conecta el océano y el continente (SEMARNAT, 2006; Walker *et al.*, 2006; Di Bitetti, 2008). Es aquí donde tienen lugar eventos de intercambio de elementos bióticos y abióticos a nivel atmosférico, superficial y subterráneo (Beer¹, 1996; Escofet, 2006, 2009).

Por estas razones, los estudios costeros deben contemplar una conexión física que vincule al continente con el océano. La cuenca hidrográfica exorreica es un área topográfica que cumple con este requisito (Cotler Ávalos, 2010). A través de los ríos el agua es drenada junto con el material biológico, químico y físico desde la cuenca alta hasta la zona costera marina (Mann y Lazier, 2006; Cotler Ávalos, 2010). Esta circulación conecta y modifica los ecosistemas de forma espacial y temporal al transportar masas de agua, contaminantes, sedimentos, especies tolerantes y nutrientes, principalmente (Suárez, 1986; Escobar, 2003; Toledo, 2003; SEMARNAT, 2006; Sánchez, 2007; Lara-Lara *et al.*, 2008; Sabater *et al.*, 2009)

El arrastre de nutrientes refuerza la productividad de la costa, al aumentar la concentración temporal de materia orgánica en un área. La asimilación de los nutrientes comienza con los organismos autótrofos (productores fotosintéticos) quienes representan la productividad primaria, que ve reflejada por la

concentración superficial de clorofila “a” (Beer¹, 1996; Signoret *et al.*, 1998; Cox y Moore, 2005).

Algunas de las zonas de mayor concentración de productividad primaria son las desembocaduras de los cuerpos de agua costeros. Los cuales presentan valores más altos en temporada de lluvia debido a la alta esorrentía continental de nutrientes (Yáñez-Arancibia, 1986). Esta contribución se desarrolla en el área de influencia de la pluma. La cobertura de la productividad en la zona costera se modifica por diversos factores como: la penetración de la luz (Santamaría-del Ángel *et al.*, 1996), la profundidad, el flujo de la marea, la advección (transporte de materiales en un fluido) de la costa y el flujo de agua dulce del continente, que a su vez modifican la distribución de los recursos alimenticios (Vidal *et al.* 1990; Beer², 1996; Neiff, 1999; Yanagi, 1999; Mann y Lazier, 2006).

La productividad en la zona costera promueve la presencia de especies costeras tanto residentes como migratorias, así como actividades relacionadas con la acuicultura y la pesca (Maass y Martínez-Yrizar, 1990; Caso *et al.*, 2005; Espejel y Bermúdez, 2009; Dahlheim y White, 2010; González-Máynez *et al.*, 2013).

La permanencia espacio-temporal de los organismos en zonas circundantes a las bocanas de los ríos y de las lagunas se asocia con la alta productividad, la cual atrae a especies de diferentes gremios, desde consumidores primarios hasta depredadores tope (Yáñez-Arancibia, 1986; González, 2009) como la especie *Tursiops truncatus* cuyo nombre común es delfín nariz de botella, tonina o tursión

(Torres *et al.*, 2008). El cual puede permanecer en hábitats oceánicos, costeros o ribereños (Wells *et al.*, 1999)

En las costas del Golfo de México Occidental, se han reportado abundantes registros de la especie *Tursiops truncatus* (Vázquez-Castán *et al.*, 2009). En la zona costera del norte de Veracruz (de Cabo Rojo a las costas de Nautla) los registros de avistamiento y foto-identificación de grupos e individuos de este delfín han corroborado una alta fidelidad al sistema (Valdes-Arellanes *et al.*, 2011).

Por tanto, si se considera que el aporte hídrico de las cuencas hidrográficas es un factor importante en la dinámica espacial y temporal de diversas especies, es posible que este fenómeno se refleje de forma similar en el comportamiento de los grupos residentes de tursiones.

Bajo esta óptica es que se plantea el presente estudio, cuya finalidad es describir la relación entre la presencia e influencia de las descargas continentales de la zona costera norte de Veracruz (cuatro ríos principales y una laguna costera), con la distribución de los grupos e individuos del delfín nariz de botella.

II. ANTECEDENTES

La zona costera marina es un área de fuerte influencia sobre el desplazamiento, uso y selección de hábitat de muchas especies (Caso *et al.*, 2005; Cotler Ávalos, 2010). Características como la alta productividad primaria y ser una zona de refugio, permiten a las poblaciones realizar algunas de sus funciones fisiológicas como la crianza, reproducción y alimentación (Aurioles-Gamboa y Zavala-González, 1994; Dahlheim y White, 2010; González-Máynez *et al.*, 2013).

Las poblaciones residentes desarrollan tolerancia ante las condiciones locales a las que son sometidas como: variaciones en salinidad, temperatura, presión, oxígeno disuelto y pH. Por otro lado las poblaciones migratorias deben tolerar las fluctuaciones de los gradientes de dichos factores (Cox y Moore, 2005).

Algunas de las especies migratorias de mayor tolerancia son los cetáceos. Las adaptaciones fisiológicas de los cetáceos les permiten desplazarse de forma vertical y horizontal en la columna de agua. Algunas adaptaciones son: la red maravilla (sistema circulatorio de regulación térmica interna), la capa gruesa de grasa y la resistencia a cambios de presión permite un uso eficiente del oxígeno en sangre, que elimina el colapso de pulmones y la disminución en la frecuencia cardiaca, durante la apnea en diferentes niveles de profundidad. Teniendo así, una amplia distribución (Jefferson *et al.*, 1993; Wynne y Schwartz, 1999; Folkens *et al.*, 2002; Guerrero Ruiz *et al.*, 2006).

La distribución de un gran número de especies de cetáceos muestra cambios significativos en tiempo y espacio (Bowen y Siniff, 1999). Autores como Wells *et al.* (1980) concluyeron que la mayoría de especies pelágicas son las que usualmente migran hacia zonas con una notable variación en temperatura, salinidad, topografía y eventos oceanográficos. Los cuales se relacionan principalmente con la distribución de sus presas.

Las migraciones en cetáceos ocurren en áreas someras (<30 m de profundidad), cercanas a la costa en un radio aproximado de cinco kilómetros, sugieren la abundante disponibilidad de presas y alimentación eficiente (Wells *et al.*, 1999). Los cetáceos buscan parches ricos de alimento en aguas de la plataforma continental (Azzellino *et al.*, 2008); en los límites de hábitats con alta biomasa de presas, como las fronteras de los cañones marinos (Kenney y Winn, 1987); o en áreas locales, como pastos marinos (Allen *et al.*, 2001; Eierman y Connor, 2014).

Las áreas óptimas para alimentación, así como el crecimiento de las crías y reproducción, son factores determinantes de la fidelidad al sitio de algunas poblaciones de cetáceos (Connor, 2002). Debido a estas razones, los grupos de tursiones del ecotipo costero principalmente han mostrado fidelidad al sitio en zonas específicas de sistemas abiertos y semicerrados por periodos anuales o por temporadas (Irvine *et al.*, 1981; Morteo *et al.*, 2004).

El ecotipo costero son aquellos grupos de tursiones que según sus hábitos alimenticios permanecen en una distancia no mayor a 34 km de la costa (Torres *et al.*, 2003). Se ha sugerido que la profundidad, la pendiente, el tipo de sustrato, concentraciones de clorofila “a”, temperatura y presencia de presas son los factores principales en la selección de hábitat de este ecotipo (Davis *et al.*, 1998; Randall, 1998; Baumgartner *et al.*, 2001; Davis *et al.*, 2002; Cubero-Pardo, 2007; Bearzi *et al.*, 2008; Azzellino *et al.*, 2012). Bearzi *et al.* (2008) concluyen que algunas de las variables predictivas anteriores son influidas por cuestiones climáticas y el cambio entre las mismas.

Los parches de alimentación es una variable predictiva importante. Debido a los análisis en la dieta del ecotipo costero existe una coincidencia de su distribución en áreas con influencia de descargas continentales (Recks, 2004; Pate y McFee, 2012). Los resultados de un modelo predictivo utilizado por Bearzi *et al.* (2008) en una porción del noroeste de las aguas del mar Adriático, mostraron una correlación directa de la ubicación de los grupos de tursiones con los gradientes de anomalía de densidad del agua y una correlación inversa con la temperatura. Los cuales se ven modificados por la influencia de descargas de ríos principales. Por lo anterior dicho modelo sugiere que los delfines prefieren zonas de empalme de la pluma con agua oceánica.

Asimismo, las entrevistas realizadas a pescadores artesanales, señalan el constante acercamiento de estos grupos de delfines hacia los estuarios (desembocadura ancha y profunda de río) o el ingreso a las lagunas, teniendo

como objetivo principal la alimentación (Irvine *et al.*, 1981). Ya que las descargas de ríos y lagunas costeras aportan nutrientes que propicia el aumento de la productividad y de las especies presas en el litoral. Por lo tanto estas áreas de influencia pueden ser zonas óptimas de alimentación (Yáñez-Arancibia, 1986; Bearzi *et al.*, 2008; Lohrenz *et al.*, 2008).

El espectro alimenticio de esta especie varía dependiendo de las condiciones ecológicas locales y de las especies presentes y la identidad de las mismas como especie principal o potencial debido al valor energético que le proporcionen al depredador (Spitz *et al.*, 2010). Esta especie puede ajustarse al consumo general o específico de presas así como regular la tasa de consumo de las mismas, dependiendo de la abundancia de las especies presentes, de la comunidad íctica y de invertebrados, y de la productividad del hábitat (Leatherwood, 1975; Allen *et al.*, 2001; Gannon y Waples, 2004; Berens *et al.*, 2010; Eierman y Connor, 2014)

Según los resultados de Gannon y Waples (2004), quienes analizaron el contenido estomacal de cuerpos de delfines estuarinos y costeros de Carolina del norte, encontraron que la dieta para ambos tipos se basó en especies demersales de la familia Sciaenidae con variaciones en la dieta según el hábitat. La corvina real (*Cynoscion regalis*) fue dominante para el ecotipo costero, mientras la gurrubata (*Micropogonias undulatus*) y croca (*Leiostomus xanthurus*) lo fue para los delfines de estuario. Esto señala que, aun cuando comparten especies en la dieta, mantienen preferencias por la especie óptima (de la cual pueda obtener el mayor valor energético en menor tiempo) dependiendo del ecosistema donde residen.

Otro análisis en la dieta de la especie fue dentro de la cuenca semicerrada del Golfo de México, donde Berens *et al.* (2010) analizaron el contenido estomacal de organismos residentes del delfín nariz de botella varados en las costas de Florida junto con la disponibilidad de la fauna íctica derivada de la pesca por red de cerco. Las especies más abundantes en el contenido estomacal difirieron de las especies de mayor proporción en captura. Se obtuvo una selección significativa por las especies de la familia Sciaenidae y por las especies soniferous (término utilizado para fauna íctica con comportamiento vocal). Concluyeron que los individuos residentes muestran una preferencia por determinadas presas a pesar de la alta disponibilidad de otras. Siendo especialistas de los peces que emiten sonidos dentro de la familia Sciaenidae, ya que facilita la detección y captura de presas.

Dado que los hábitats costeros son un área de alta productividad, autores como Wells *et al.* (1980) e Ingram y Rogan (2002) señalan que estas zonas permiten el establecimiento continuo o prolongado de los grupos de delfines. Bearzi *et al.* (2008) comentan que es necesario contemplar la relación que existe entre las variables hidrológicas, la acción temporal y el entorno físico del sistema.

En la región costera del norte de Veracruz, en el Golfo de México Occidental, se han avistado grupos de *Tursiops truncatus* del ecotipo costero desde 1990. Los primeros registros en esta zona se basaron en estudios de distribución y foto-identificación de estos grupos en la Laguna de Tamiahua (Heckel, 1992; Shramm, 1993). Posteriormente, a partir de un catálogo de foto-identificación se

identificaron a 202 individuos en un periodo de dos años y la comparación entre estos individuos y los registrados por primera vez, mostraron una alta fidelidad al sitio, tomando en cuenta que el intervalo entre ambas series de tiempo fue de 13 años (Valdes-Arellanes *et al.*, 2011).

Una cualidad conductual de esta especie en sistemas abiertos es su capacidad de reestructurar los grupos de manera constante, es decir que existe un intercambio de individuos entre grupos (Wells, 2003). García Hernández (2009) estudió la socialización entre los grupos de *Tursiops* de la zona costera norte de Veracruz, y concluyó que los grupos de Tuxpan con Nautla mantenían una mayor interacción comparada con los de Tamiahua. Estos a su vez, limitan su distribución al área donde residen, es decir en la zona de Tamiahua, Tuxpan y Nautla (Vázquez-Castán, 2007). Así como alcanzar una distancia de 12 kilómetros hacia la costa (Vázquez-Castán, 2010).

Por otra parte Martínez-Serrano *et al.* (2012) en un estudio de ámbito hogareño de individuos foto-identificados en la zona costera norte de Veracruz, observaron una variación temporal en la ubicación y tamaño de las áreas núcleo (referente a los sitios de mayor probabilidad de distribución de individuos) con un promedio de 3 825 km² alrededor de las descargas de los ríos principales y de la laguna de Tamiahua. Además observaron que los avistamientos se presentaron a una distancia promedio de 2.5 kilómetros con respecto a la costa, concluyendo que las descargas continentales son un componente que puede estar influyendo los

tamaños del ámbito hogareño de la especie para la zona costera del Golfo de México Occidental.

Retureta Delgado (2012) observó que el grado más alto de actividad conductual de los grupos de esta especie (socialización, alimentación, descanso y desplazamiento) se desarrolló en las cercanías de las desembocaduras de los ríos Tuxpan, Cazones y al sur de la Laguna de Tamiahua. Los grupos focales (los grupos en observación) ocurrieron con mayor frecuencia cerca de la costa y de las desembocaduras, siendo más constantes durante la época de lluvias y nortes. La distancia promedio de los avistamientos hacia la costa de Tamiahua fue de 5.43 km, mientras que Tuxpan fue de 3.20 km, presentando esta última diferencias significativas con respecto a los cuatro comportamientos.

La variación espacio-temporal de este depredador tope (el cual se encuentra en la cúspide de la cadena alimenticia) puede ocasionar un impacto en la población local y cadena trófica de las especies presa (Kruuk, 1972; Dahlheim y White, 2010). La función de un depredador tope radica en regular la biodiversidad de un ecosistema (Duffy y Hay, 2001; Levinton, 2009; Estes *et al.*, 2011). Su disminución u omisión puede causar una cascada trófica y afectar los patrones de biodiversidad en diferentes niveles tróficos del sistema (Di Bitetti, 2008). El sentido del balance de una comunidad reside en ambos efectos: el control de abajo-arriba (bottom-up) y de arriba-abajo (top-down), ya que los depredadores y las presas regulan mutuamente el tamaño de sus poblaciones, lo que permite entender la conectividad natural de un sistema (Bowen *et al.*, 2002; Estes *et al.*, 2011)

La elección de *Tursiops truncatus*, como objeto ecológico de estudio para este trabajo, radica en la base de ser considerado un bioindicador idóneo del estado de salud de ecosistemas costeros y oceánicos (Wells *et al.*, 2004), por la función que desempeña como depredador tope (Torres *et al.*, 2008; Estes *et al.*, 2011), la facilidad de observación y por ser una especie sujeta a protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Además su longevidad (más de 20 años) y las conexiones sociales entre individuos de diversos hábitats (Bearzi *et al.*, 1997), permiten conocer los cambios en las poblaciones y su impacto en el ecosistema (Wells, 2012).

La presencia de los grupos de esta especie en la costa norte de Veracruz, deben estar jugando un papel crucial para mantener la estabilidad de consumidores en el ecosistema, así como lo hace la región hidrológica en la productividad primaria del litoral. Por tanto, estudiar la conexión que existe entre la distribución de esta especie y la influencia que ejercen las cuencas hidrográficas sobre la misma, permitirá interpretar los eventos ecológicos en la zona costera marina desde un enfoque holístico.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la relación entre la distribución, abundancia, alimentación y crianza de *Tursiops truncatus* con la presencia e influencia de las cinco cuencas hidrográficas exorreicas de la zona costera norte de Veracruz, Golfo de México Occidental.

Objetivos particulares

- Conocer la distribución del delfín nariz de botella en la zona costera marina del norte de Veracruz.
- Determinar los movimientos espacio-temporales de individuos y grupos del delfín nariz de botella con respecto a la costa del norte de Veracruz.
- Determinar la relación entre la presencia de cuatro ríos principales y una laguna costera del norte de Veracruz con el movimiento espacio-temporal de individuos y grupos del delfín nariz de botella.
- Comprobar la relación entre la crianza y la alimentación con la distancia a la desembocadura de las descargas continentales principales.

- Identificar la influencia del gasto de las cuencas hidrográficas exorreicas de la región hidrológica 27 Tuxpan-Nautla sobre la zona costera marina del norte de Veracruz, con base en la concentración de clorofila “a” y productividad primaria.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

El estado de Veracruz posee una superficie de 72 410 km² y cuenta con 727.39 km de litoral. La zona costera (ZC) de Veracruz la conforman 31 municipios, 27 con frente litoral y cuatro adyacentes. Su superficie abarca aproximadamente el 23% de la superficie total del estado (Peresbarbosa Rojas, 2005). De estos, sólo ocho municipios de frente litoral se encuentran dentro el área de estudio

El área de estudio posee una línea de costa de 166.09 km desde los límites del municipio de Tamiahua hasta el municipio de Nautla. Se extiende en un promedio de 40 km mar a dentro, abarcando un área de 2,613 km² entre los 21°23' N; 97° 17' W y 20°08' N 96°36' W. Por la parte terrestre, cuenta con la influencia de las cinco principales descargas hídricas de cinco cuencas hidrográficas: la Laguna de Tamiahua, el río Tuxpan, el río Cazonces, el río Tecolutla y el río Nautla (Cuadro 1, Figura 1).

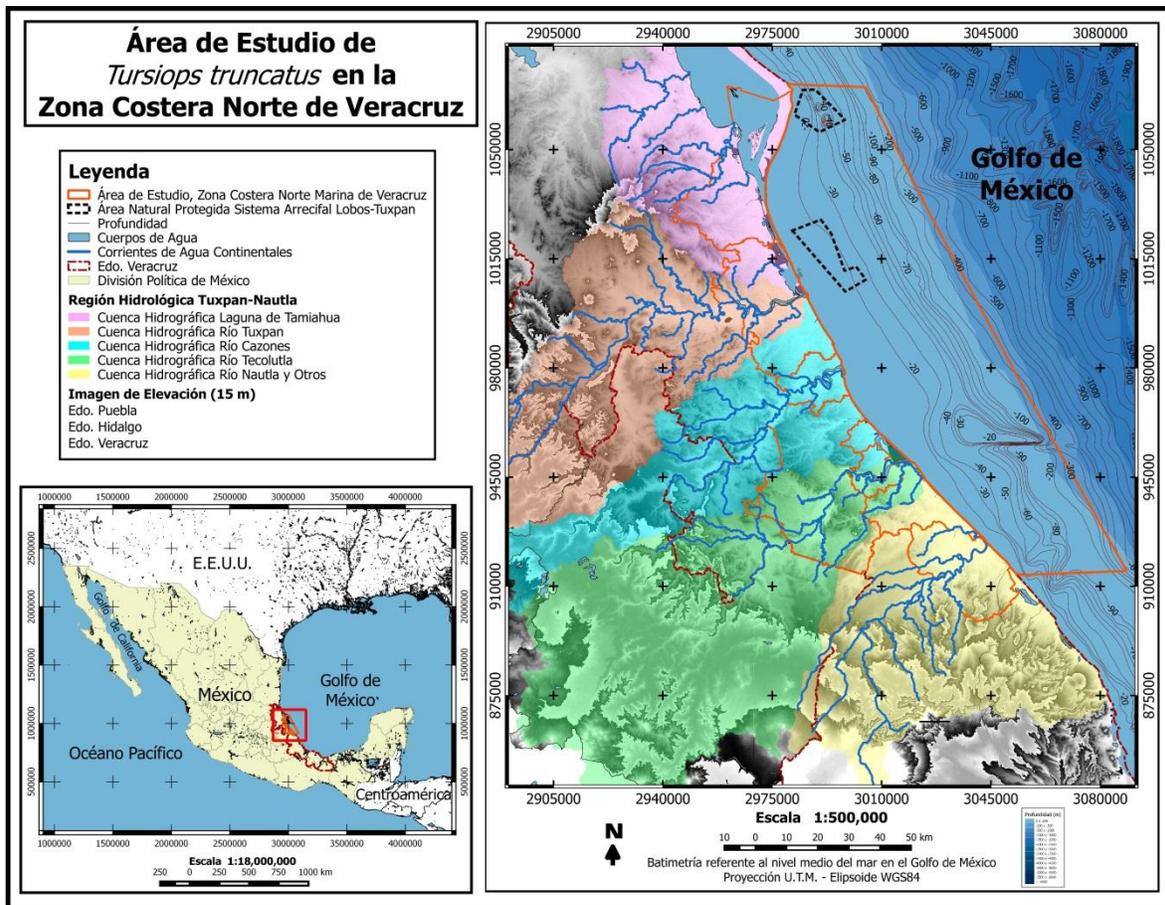


Figura 1. Área de estudio de avistamientos de la población del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) de la Zona Costera Norte de Veracruz (Cuadro rojo).

Por su caudal cuatro de los sistemas antes mencionados están catalogados como corrientes de agua principales en Veracruz teniendo el siguiente orden: Tecolutla (5 910 hm³/año), Tuxpan (2 580 hm³/año), Nautla (1 725 hm³/año) y Cazones (1 460 hm³/año) (Figura 1, Peresbarbosa Rojas, 2005).

Cuadro 1. Extensión de las sub-cuencas hidrográficas del área de estudio, pertenecientes a la Región Hidrológica 27 Tuxpan-Nautla (Modificado de INEGI, 2010)

| Cuenca hidrográfica | Volumen Total (billones de m3) | Sub-cuencas | Tipo | Área (km ²) | Descarga |
|---------------------|--------------------------------|------------------------|---------|-------------------------|--------------------|
| Laguna de Tamiahua | 1.055 | Estero de Corral | Abierto | 378.02 | Laguna de Tamiahua |
| | | Estero Tancochín | Abierto | 603.35 | Laguna de Tamiahua |
| | | Estero Cucharas | Abierto | 719.53 | Laguna de Tamiahua |
| | | Laguna de Tamiahua | Abierto | 2 489.08 | Mar |
| Tuxpan | 2.103 | A. Tecomate | Abierto | 396.74 | Río Tuxpan |
| | | Río Pantepec | Abierto | 1 576.89 | Río Tuxpan |
| | | R. Vinazco | Abierto | 2 564.78 | Río Buenavista |
| | | Río Buenavista | Abierto | 446.20 | Río Tuxpan |
| | | Río Tuxpan | Abierto | 903.35 | Mar |
| Cazones | 1.084 | Estero y L. de Tumilco | Abierto | 372.78 | Mar |
| | | Río Tenixtepec | Abierto | 632.09 | Mar |
| | | Río San Marcos | Abierto | 1 635.23 | Río Cazones |
| | | Río Cazones | Abierto | 1 187.15 | Mar |
| Tecolutla | 2.910 | Río Joloapan | Abierto | 502.21 | Río Tecolutla |
| | | Río Apulco | Abierto | 2 109.37 | Río Tecolutla |
| | | Río Tecuantepec | Abierto | 1 056.34 | Río Apulco |
| | | Río Laxaxalpan | Abierto | 1 608.95 | Río Tecolutla |
| | | Río Necaxa | Abierto | 900.78 | Río Tecolutla |
| | | Río Tecolutla | Abierto | 1 644.14 | Mar |
| Nautla y otros | 0.863 | Río Colipa | Abierto | 423.92 | Mar |
| | | Río Mizantla | Abierto | 585.58 | Mar |
| | | Río Nautla | Abierto | 719.93 | Mar |
| | | A. Solteros | Abierto | 572.44 | Mar |
| | | R. María de la Torre | Abierto | 294.62 | Río Nautla |
| | | Río. Bobos | Abierto | 1 786.85 | Río Nautla |

La costa de Veracruz se encuentra influida por la circulación del Golfo de México. Sin embargo el talud continental favorece la desintegración de los giros anticiclónicos generados por la corriente de Lazo, teniendo como producto giros de mesoescala tanto ciclónicos como anticiclónicos. Algunos giros de menor intensidad llegan a la plataforma continental de Tamaulipas y el norte de Veracruz. Uno de estos giros ciclónicos está localizado al noreste de la Laguna de

Tamiahua, lo que influye a la circulación del sistema (Vázquez de la Cerda, 2004; Caso *et al.*, 2005; Zavala-Hidalgo *et al.*, 2006)

Generalmente la circulación costera en Veracruz está dominada por los vientos alisios del este, mientras que en la costa norte la corriente sigue una dirección hacia el sur, desplazándose hacia los litorales sureños. El nivel de marea es pequeño a lo largo del litoral (-0.5 m), no obstante su intensidad contribuye a la mezcla de agua y sedimentos en las desembocaduras fluviales. Estos niveles varían estacionalmente, siendo mayores en lluvias y nortes (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Caso *et al.*, 2005).

En un análisis sobre la circulación de la plataforma continental mexicana en el Golfo de México (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Dubranna *et al.*, 2011), se indica que la dirección de la circulación superficial entre las latitudes 19° N a 26° N muestra una variación estacional entre dos temporadas primavera-verano (marzo-agosto) y otoño-invierno (septiembre-febrero), influenciada de forma directa por el esfuerzo del viento y remolinos de menor y mediana escala (Vidal *et al.*, 1994).

La temperatura frente a las costas tiende a ser más constante y a prolongarse por un amplio periodo de tiempo, oscilando entre los 29 °C en verano y 24 °C en invierno. Las masas de agua provenientes de las descargas continentales disminuyen la temperatura costera en un promedio de 4°C, aumentando de forma paulatina hasta los límites de la pluma. El mismo comportamiento manifiesta la salinidad que oscila entre 30 y 35 UPS, que disminuye por la descarga de los ríos,

lagunas y estuarios (Orduña Medrano, 2012). Contrario a las concentraciones de clorofila “a” que aumentan principalmente en las desembocaduras fluviales ($>3.0 \text{ mg/m}^3$) y disminuyen conforme se desplazan hacia aguas oceánicas (De la Lanza-Espino y Gómez Rojas, 2004; Caso *et al.*, 2005).

Con respecto a los niveles de clorofila “a”, en el Golfo de México Norte, en general los niveles son bajos disminuyendo hasta 0.06 mg/m^3 , sin embargo mediante imágenes satelitales se han ubicado sitios costeros como el delta del río Mississippi, donde se reflejan las concentraciones más altas de clorofila “a” alcanzando los 5 mg/m^3 (Müller-Karger y Walsh, 1991). En la zona del Golfo de México correspondiente a las aguas territoriales mexicanas, las desembocaduras de los ríos Bravo, Panuco, Tuxpan y Cazones han reportado concentraciones de clorofila “a” de 3.0 mg/m^3 (Vidal *et al.* 1990; Caso *et al.*, 2005).

Por otro lado, dentro del área de estudio se localiza el Área Natural Protegida del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, que está constituido por los Arrecifes Tuxpan, En medio, Blanquilla, Tanhuijo, Medio y Lobos, los cuales son ecosistemas marinos muy importantes debido a su alta diversidad biológica y además de que funcionan como hábitats, zona de alimentación y protección, y en ocasiones como áreas de reproducción para especies migratorias (Arguelles, 2008). Además, los movimientos de la población local del delfín nariz de botella se ven relacionados con la presencia de estos ecosistemas (Vásquez-Castán, 2010).

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Compilación de datos

Se reunió información de los avistamientos de *Tursiops truncatus* del Laboratorio de Mamíferos Marinos de la Facultad de Ciencias Biológicas-Agropecuarias de la Universidad Veracruzana del período marzo 2005 a junio 2013. Durante este lapso se realizaron 94 salidas a campo, se ubicaron 174 sitios de avistamiento y un registró total de 1 683 individuos en 187 grupos. Los grupos se registraron bajo el siguiente criterio “cualquier grupo de delfines en aparente asociación, moviéndose en la misma dirección y por lo general ejecutando la misma actividad” (Shane, 1990), manteniendo entre ellos una distancia no mayor a 100 m (Bearzi *et al.*, 1997).

Cada avistamiento del delfín nariz de botella se ubicó de manera espacial en un mapa elaborado en el programa Quantum GIS 2.2. El mapa contiene cinco polígonos del área de estudio, en cada uno se construyó una retícula con celdas de 2x2 minutos. La longitud y el ancho de cada polígono se estimaron mediante la distancia máxima de los avistamientos con la bocana del cuerpo de agua más cercano. Cada polígono tuvo un área de 10x14 celdas. Para la representación de los polígonos de cada cuerpo de agua se utilizaron los siguientes códigos: Ta (Laguna de Tamiahua), Tu (Río Tuxpan), Ca (Río Cazones), Te (Río Tecolutla) y

Na (Río Nautla). De esta forma se ubicaron para cada sitio de avistamiento, los grupos e individuos dentro del polígono correspondiente.

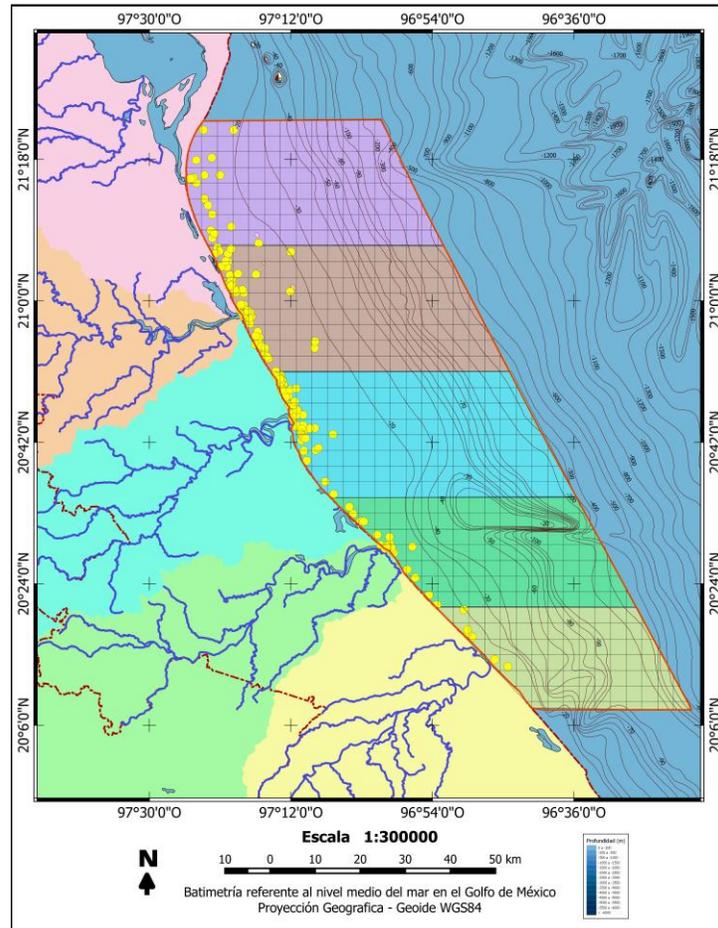


Figura 2. Estandarización de las distancias entre cada descarga principal por medio de cuadrículas, trazando polígonos con dimensiones de 10x14 celdas de 2x2'. De norte a sur encontramos: la cuenca hidrográfica de la Laguna de Tamiahua, del río Tuxpan, del río Cazonas, del río Tecolutla y del río Nautla, con sus respectivas corrientes continentales y sus polígonos. Los puntos amarillos son los sitios de avistamientos de la especie.

5.2. Descripción de los datos o variables

Los datos obtenidos fueron:

1. Cantidad de sitios de avistamiento, de individuos y de grupos.
2. Distancia (radio) desde la desembocadura hacia cada sitio de avistamiento.
3. Distancia perpendicular de la costa hacia cada sitio de avistamiento.
4. Valores de productividad primaria, concentración de clorofila “a” y gasto medio de tres ríos principales de la zona costera del norte de Veracruz: río Tuxpan, río Cazones y río Nautla.

Los primeros tres datos son variables son cuantitativas discretas. Ambas distancias son variables continuas pero cada avistamiento se ubicó en intervalos de un kilómetro con la finalidad de tener frecuencias, al realizar este ajuste las variables se convirtieron en categóricas.

5.3. Prueba de Normalidad

El corroborar el tipo de distribución que presentan los datos de cada variable, permite conocer qué tipo de estadística se puede usar: paramétrica o no paramétrica. Para los datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk con el programa estadístico R versión 3.0 (R Development Core Team, 2009). Dicho estadístico asume como H_0 que los datos presentan una distribución normal. Los resultados fueron los siguientes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk para las variables cuantitativas de total de individuos, total de grupos, distancia a los cuerpos de agua y a la costa.

| Variable | Valores Shapiro |
|----------|-----------------|
|----------|-----------------|

| | W | P |
|---|--------|-----------------------|
| Individuos | 0.7588 | 3.180e ⁻¹⁶ |
| Grupos | 0.9546 | 1.059e ⁻⁵ |
| Distancia a las descargas continentales | 0.942 | 7.406e ⁻⁷ |
| Distancia a la costa | 0.6012 | < 2.2e ⁻¹⁶ |
| Gasto | 0.7505 | < 2.2e ⁻¹⁶ |
| Clorofila "a" | 0.8136 | 2.323e ⁻¹⁵ |
| Productividad primaria | 0.951 | 6.098e ⁻⁰⁷ |

Dado que los valores de p fueron menores a $\alpha=0.05$, se rechaza la H_0 asumiendo que ninguna de las variables presentan una distribución normal, por lo tanto la estadística que se utilizó fue no paramétrica.

5.4. Distribución del delfín nariz de botella en la zona costera marina norte de Veracruz

Para la frecuencia de avistamientos tanto de individuos como de grupos con el área del polígono de influencia de cada descarga continental, se utilizó la prueba de Ji cuadrada (X^2) usando el programa estadístico R versión 3.0 (R Development Core Team, 2009). Debido a la variación en el esfuerzo de muestreo se utilizaron los registros totales y tasas de ponderación por las categorías de grupos e individuos en cada polígono con la finalidad de nivelar el esfuerzo de muestreo realizado en la observación de los mismos por salidas al campo. Los datos para el cálculo de las tasas se manejaron por polígono de las descargas continentales. De esta forma las tasas se obtuvieron a partir del cociente del total de grupos con el total de salidas al campo y la abundancia total de individuos con el total de salidas al campo.

5.5. Dinámica poblacional del delfín nariz de botella con respecto a la distancia a la costa y las desembocaduras de las descargas continentales.

Se empleó el Análisis de Correlación no Paramétrica de Spearman usando el programa estadístico R versión 3.0 (R Development Core Team, 2009). Los criterios para la selección de esta prueba se basaron en los tipos de variables a analizar, la distribución que poseen y la finalidad de la prueba, la cual radica en conocer el sentido de la correlación positivo (directa) o negativo (inversa) y la intensidad de la misma, representado por r^2 (Daniel, 2002; Glantz, 2006).

Esta prueba mide la relación entre las variables 1) biológicas: cantidad de grupos e individuos del delfín nariz de botella, frecuencia de alimentación y cantidad de crías; 2) físicas: las distancias hacia las desembocaduras y hacia la costa; y 3) oceanográficas: concentración de clorofila “a”, productividad primaria, gasto fluvial de las descargas continentales, las cuales no presentaron una distribución normal.

5.5.1. Distribución espacial

Para la evaluar la relación entre los datos de dinámica poblacional del delfín nariz de botella (movimientos de los grupos e individuos, así como tamaño de grupo) con las descargas continentales (distancia al cuerpo de agua más cercano y distancia a la costa), se realizó un análisis de correlación no paramétrica de

Spearman usando el programa estadístico R versión 3.0 (R Development Core Team, 2009).

La correlación espacial se analizó a dos escalas: una de paisaje, agrupando las distancias de todas las descargas continentales y las distancias a la costa del área de estudio; y una local, relacionando sólo las distancias del total de grupos e individuos hacia las desembocaduras principales en cada polígono.

El total de individuos y de grupos se ubicaron en intervalos de un km, para hacer las muestras comparativas y mantener un tamaño de muestra adecuado para el análisis. La distancia se midió a partir de la desembocadura de los cuerpos de agua hacia cada sitio de avistamiento y para la distancia a la costa, se consideró una medida perpendicular de la costa hacia cada sitio de avistamiento. El tamaño de grupo se obtuvo dividiendo a todos los individuos entre el total de grupos, ubicados en intervalos de un km.

5.5.2. Distribución temporal

La misma agrupación en km utilizada para el análisis espacial a escala regional fue utilizada para el análisis temporal, ubicando a los avistamientos en los meses que presentaron los picos de descarga de los cuerpos continentales, a las que se les nombró temporada de mayor descarga (julio-noviembre) y los de menor descarga (diciembre-junio). Dicha información fue obtenida de CONAGUA.

5.5.3. Relación espacial de la alimentación y crianza de tursiones hacia las desembocaduras de las descargas continentales.

Para este análisis se tomaron en cuenta dos de los principales comportamientos para la selección de hábitat de estos cetáceos: la crianza y la alimentación. Para evaluar la crianza se tomó en cuenta el total de crías del grupo, es decir a aquellos individuos cuyo tamaño representa menos de la mitad del tamaño de un adulto y estaban en estricta cercanía a él (Bearzi *et al.*, 1997). Se contempló el registro del comportamiento alimenticio y/o forrajeo a partir de la observación de una continua persecución de las presas, sin contemplar el éxito de la actividad (Shane, 1990).

El procesamiento de los datos se realizó a escala de paisaje, para lo cual los datos de avistamientos que presentaron crías y un comportamiento de forrajeo y/o alimentación, se dividieron en distancias de un km con respecto a la desembocadura de las descargas continentales. Se calculó la frecuencia de alimentación y la frecuencia de crías, a partir del cociente de la actividad desempeñada por km entre el total de observaciones de dicho comportamiento en todos los km, correspondientes a cada frecuencia. Para evaluar las relaciones se empleó un análisis de correlación no paramétrica de Spearman usando el programa estadístico R versión 3.0 (R Development Core Team, 2009).

5.6. Influencia de las cuencas hidrográficas en la zona costera marina del norte de Veracruz.

En este apartado se utilizaron los datos disponibles de series de tiempo mensuales de concentración de clorofila “a” (mg/m^3) y productividad primaria ($\text{mgC}/\text{m}^2\cdot\text{día}$), y el gasto (m^3/s) correspondiente a tres ríos principales de tres cuencas hidrográficas exorreicas de la región de estudio.

Para el análisis de clorofila “a” y productividad se trabajó con composiciones mensuales generadas a partir de imágenes satelitales del Golfo de México de la base de datos de la NOAA ERDDAP. Dichas imágenes fueron capturadas por el sensor Aqua-MODIS con resolución de 1 km^2 que abarcó el área de las principales desembocaduras de las tres cuencas. El lapso comprendido fue de marzo 2005 a mayo 2012.

Los gastos de las cuencas constaron de promedios mensuales a partir de registros diarios de marzo 2005 a mayo 2012 de tres estaciones hidrométricas de la CONAGUA: la del Sombrero en la cuenca del Río Tuxpan, la de Poza Rica en la cuenca del Río Cazones y la de Martínez de la Torre en la cuenca del Río Nautla.

Cada serie de tiempo de las concentraciones de clorofila “a”, productividad primaria y gasto (Anexo 6,7 y 8) se analizó en el dominio de la frecuencia para determinar los máximos más relevantes y su periodicidad. Se realizó un análisis espectral con la función Spectrum usando el programa estadístico R versión 3.0 (R Development Core Team, 2009). Cuya función radica en la transformada de Fourier, es decir descomponer la serie temporal en diferentes bandas de frecuencia de ondas de seno y coseno. De esta manera es posible estimar la

importancia relativa de cada frecuencia así como su contribución en la variación total de la serie (Koopmans, 1995; Gras, 2001). La periodicidad se calculó a partir del inverso de la frecuencia, es decir $T=1/F$, donde T es el tiempo o periodo y F es la frecuencia dentro de la serie de Fourier.

VI. RESULTADOS

Los resultados de la abundancia de grupos e individuos difirieron por zona, siendo el polígono Tuxpan (Tu) el que presentó la mayor cantidad de grupos avistados, sin embargo en el polígono Cazonas (Ca) se registró una mayor abundancia de individuos. Por otro lado los resultados de las tasas muestran una mayor abundancia registrada de grupos e individuos en las costas del polígono de Cazonas seguida de Tecolutla (Cuadro 3, Figura 2).

Cuadro 3. Datos de abundancia y tasas a nivel de individual y grupal de *Tursiops truncatus* por cada polígono del área de estudio.

| Cuerpos de agua | Salidas | Abundancia | | Tasas | |
|-----------------|-----------|------------|-------------|--------|------------|
| | | Grupos | Individuos | Grupos | Individuos |
| Tuxpan (Tu) | 46 | 81 | 507 | 1.76 | 11.02 |
| Cazonas (Ca) | 16 | 57 | 741 | 3.56 | 46.31 |
| Tecolutla (Te) | 13 | 21 | 198 | 1.62 | 15.23 |
| Tamiahua (Ta) | 13 | 21 | 156 | 1.62 | 12 |
| Nautla (Na) | 6 | 7 | 81 | 1.17 | 13.5 |
| Total | 94 | 187 | 1683 | | |

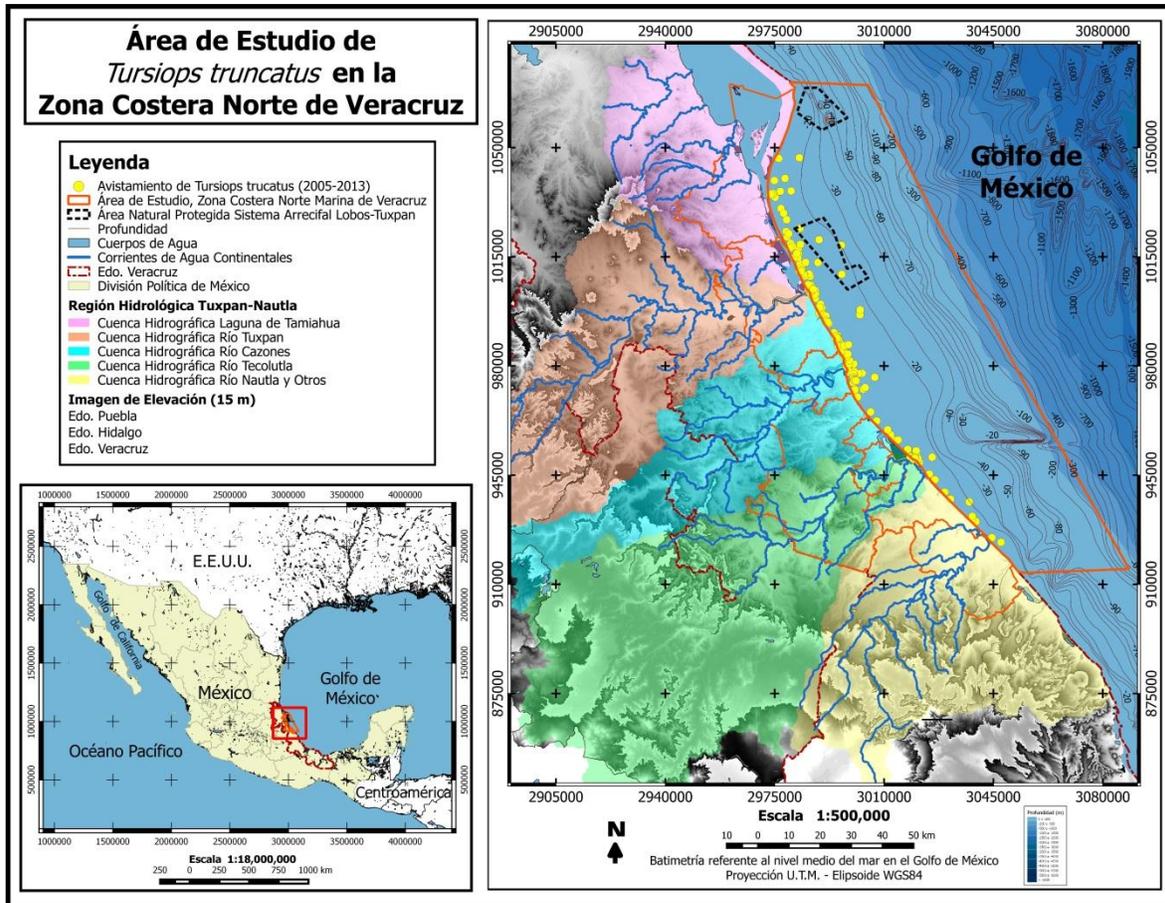


Figura 3. Distribución de los sitios de avistamientos del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) en el área de estudio (cuadro rojo: área de estudio, puntos amarillos: avistamientos de delfines).

6.1. Análisis de la distribución del delfín nariz de botella en la zona costera marina norte de Veracruz

Para los datos originales (Cuadro 2) se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas tanto para la categoría grupos por cuerpo de agua ($X^2= 50.1503$, $P= 3.359 \cdot 10^{-10}$) como para el total de individuos por cuerpo de agua ($X^2= 444.7728$, $P < 2.2e-16$).

En el análisis con las tasas de ponderación (Cuadro 2), sólo la categoría total de individuos por cuerpo de agua mostró diferencias estadísticamente significativas ($X^2 = 16.73$, $p= 0.002$) (Figura 3).

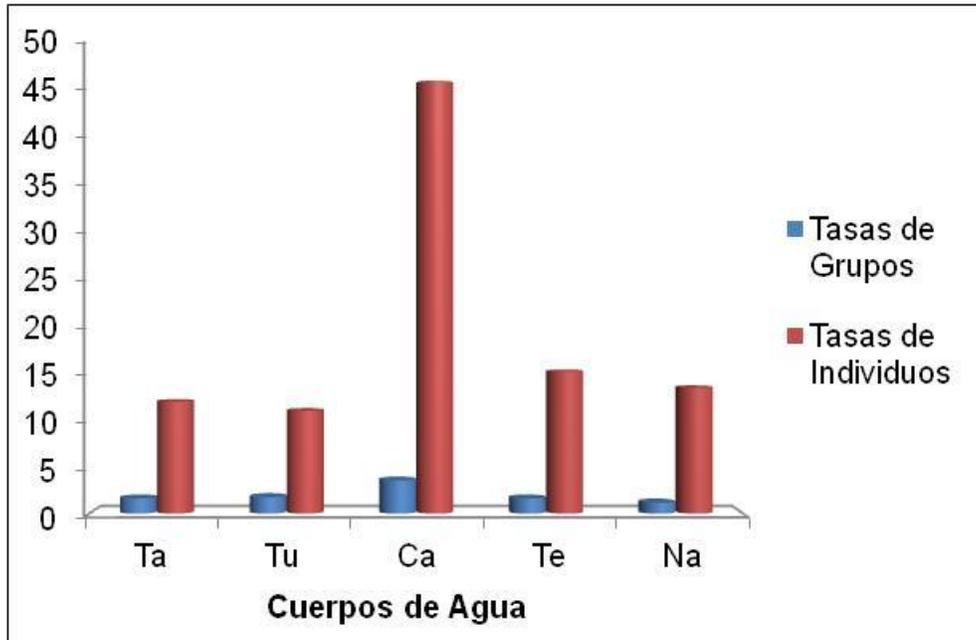


Figura 4. Comportamiento de los grupos y los individuos del delfín nariz de botella con base en las tasas de ponderación de los mismos, dentro del polígono de la descarga correspondiente. Laguna de Tamiahua (Ta), río Tuxpan (Tu), río Cazones (Ca), río Tecolutla (Te) y río Nautla (Na).

6.2. Análisis espacio-temporal de la dinámica poblacional del delfín nariz de botella con respecto a la distancia a la costa y desembocaduras

Se obtuvo una distancia promedio para los individuos y los grupos con respecto a la costa de 2.3 km y a partir de la bocana de 6.9 km. Además más del 80% del total de los individuos y de los grupos de delfín nariz de botella se segregaron en los primeros tres kilómetros con respecto a la distancia a la costa en el sistema. Mientras que con relación a la distancia hacia las desembocaduras continentales,

más del 80% de los individuos y grupos permanecieron en un radio de 12 km (Figura 4, Anexo 3).

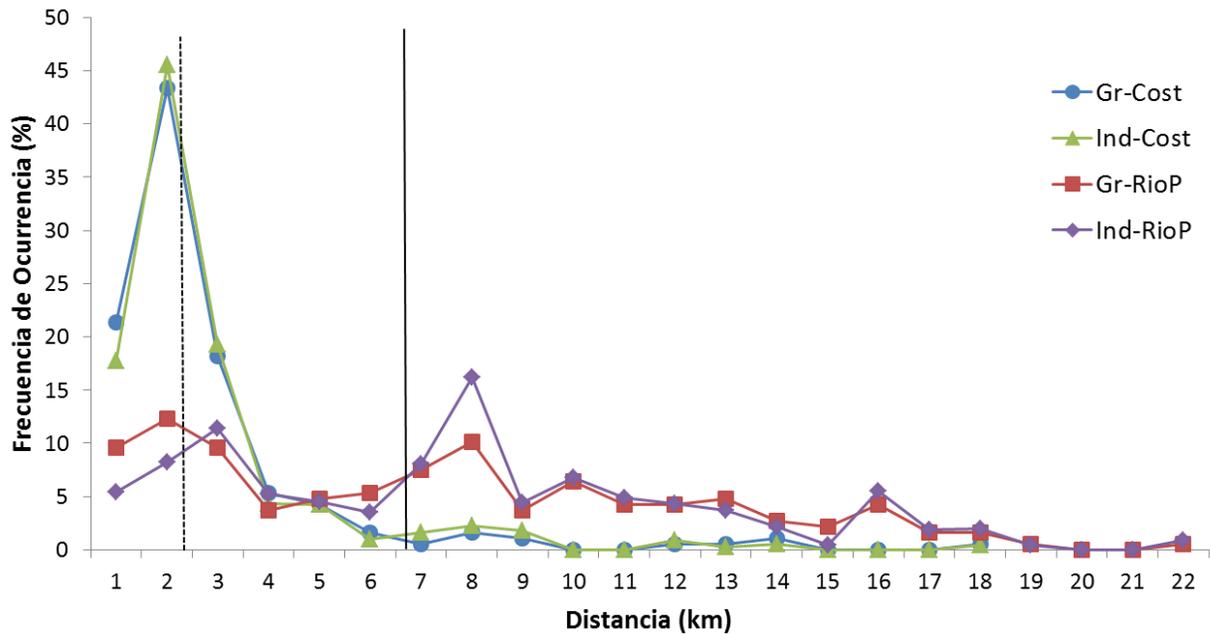


Figura 5. Frecuencia de ocurrencia de grupos (Gr) e individuos (Ind) respecto a las desembocaduras de ríos principales (RíoP) y a la costa (Cost). Así como la distancia promedio de los mismos a las bocananas (línea negra continua, 6.9 km) y a la costa (línea negra punteada, 2.3 km).

En el análisis a nivel de paisaje sobre la presencia de los grupos e individuos, se observó que dentro del intervalo de los tres kilómetros hacia la costa se encontraron 155 grupos y 1390 individuos (82.89% y 82.59% respectivamente), cuyos desplazamientos con respecto a las desembocaduras alcanzaron los 18 km como distancia máxima (Figura 5).

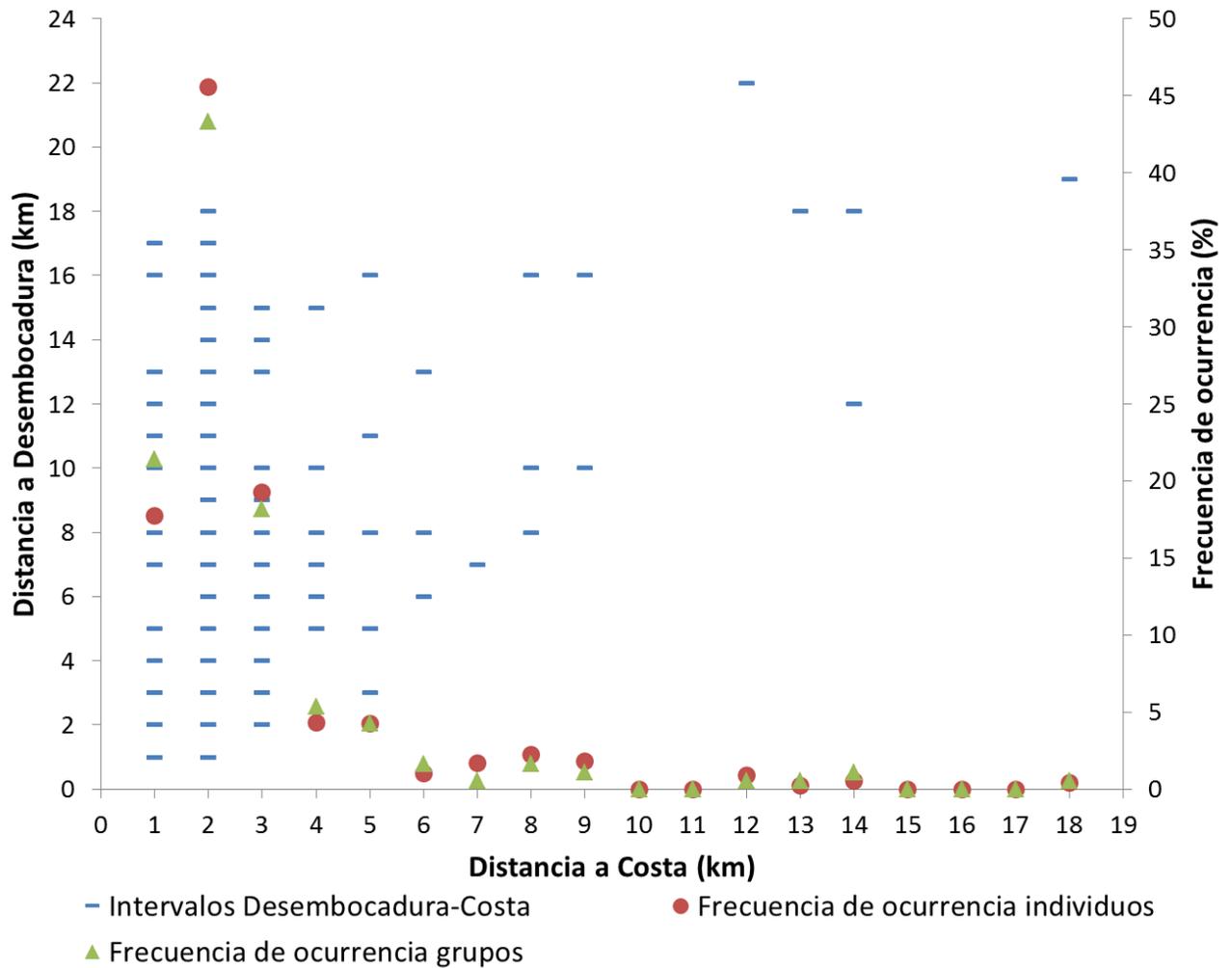


Figura 6. Relación de la frecuencia de ocurrencia de los grupos y los individuos del delfín nariz de botella con las distancias que alcanzan hacia las desembocaduras dentro de cada kilómetro de distancia hacia la costa.

6.2.1. Dinámica espacial

En los resultados a escala de paisaje, la relación de los grupos con la distancia a la desembocadura de los ríos principales y la laguna más cercana, y a la costa presentaron correlaciones negativas, de intensidades fuertes y significativas ($r = -0.87$; $p = 1.866e^{-7}$; $r = -0.83$; $p = 2.110e^{-5}$; respectivamente, Figura 6a y 7a).

En la relación entre la abundancia de individuos con la distancia a la desembocadura de los ríos principales y la laguna más cercana, y a la costa también se encontraron correlaciones negativas, de intensidades fuertes y significativas ($r = -0.80$; $p = 8.93e^{-6}$; $r = -0.86$; $p = 5.208e^{-6}$; respectivamente, Figura 6b y 7b).

En los cuatro casos la tendencia tuvo un sentido negativo, que explica una relación en el aumento de los individuos y grupos a medida que disminuye la distancia a las bocanas de las descargas principales y a la costa. Además los coeficientes de correlación (r) mostraron más del 80% de la variación de los datos. La correlación más fuerte se encontró con relación al total de grupos con la cercanía a la desembocadura, debido a que la dispersión de los datos se encuentra más cercana al valor central. Lo anterior indica que sí existe una tendencia significativa en el incremento de la cantidad de grupos e individuos a medida que disminuye la distancia tanto a la laguna o ríos como a la costa.

Las relaciones entre el tamaño de grupo con respecto a la distancia con las desembocaduras ($r = -0.07$; $p = 0.7624$) resultaron ser independientes al no presentar una correlación significativa, mientras que el tamaño de grupo con respecto a la distancia a la costa si presentó una correlación negativa, estadísticamente significativa aunque con un valor de coeficiente de correlación débil ($r = -0.53$; $p = 0.0230$, Figura 6c y 7c).

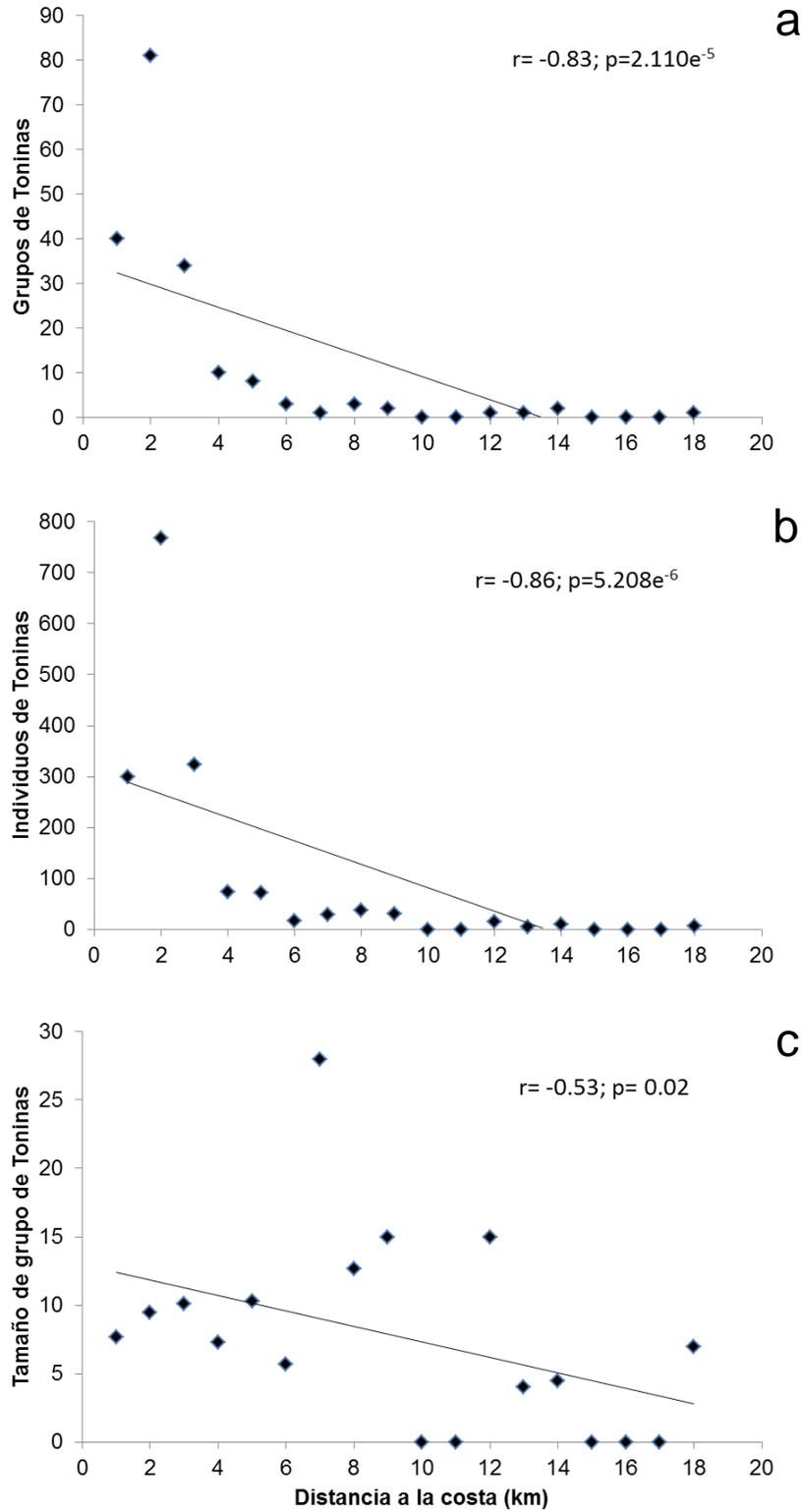


Figura 7. Movimientos y permanencia de los grupos (a), individuos (b) y tamaño de grupo (c) del delfín nariz de botella asociados a la cercanía a la costa.

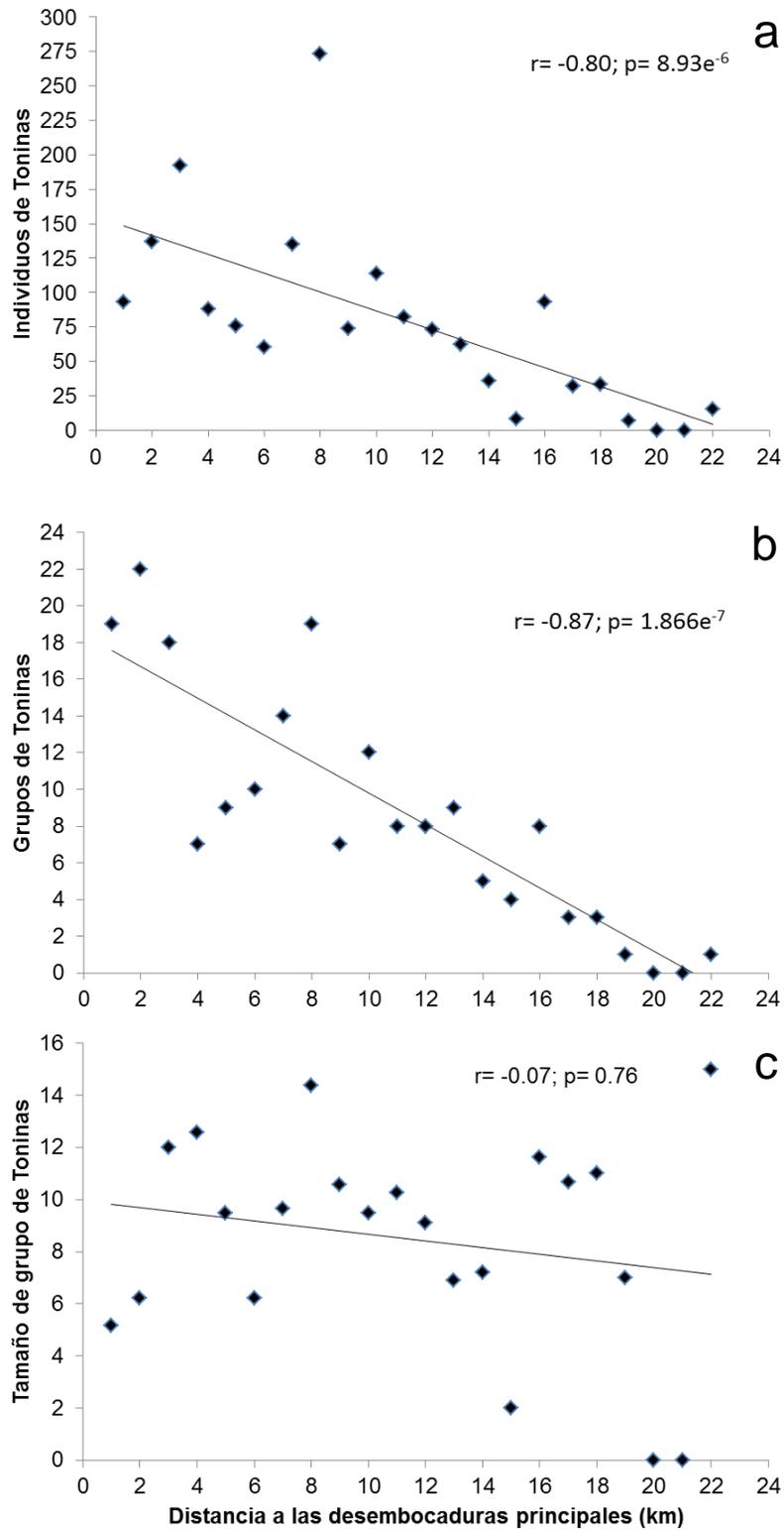


Figura 8. Movimientos y permanencia de los grupos (a), individuos (b) y tamaño de grupo (c) del delfín nariz de botella asociados a la desembocadura principal más cercana.

En los resultados a escala local, es decir la distancia hacia las desembocaduras de ríos y una laguna costera por polígono (Anexo 4), únicamente la correlación entre total de grupos por distancia a la desembocadura del río Tuxpan y río Tecolutla resultaron significativas, con un coeficiente de correlación débil por ser $r < 0.6$ y de relación inversa ($r = -0.48$, $p = 0.038$ y $r = -0.55$, $p = 0.018$, respectivamente).

6.2.2. Dinámica Temporal

Para el análisis temporal se presentaron diferencias estadísticamente significativas en las 8 relaciones del desplazamiento de los grupos e individuos del delfín nariz de botella en ambas categorías temporales en un radio no mayor a los 22 km con respecto a las bocanas de las cinco descargas y no mayor a los 18 km con respecto a la costa (Anexo 2). Dichas correlaciones tuvieron un sentido negativo es decir una relación inversa en la cantidad de grupos y abundancia de individuos con la distancia a la costa y desembocaduras continentales.

La relación con la intensidad más fuerte en el coeficiente de correlación se presentó en la cantidad de grupos con distancia a la desembocadura en temporada de mayor descarga ($r = -0.86$; $p = 2.16e^{-07}$). Por otro lado, a pesar de que la relación entre la abundancia de individuos con distancia a la desembocadura en temporada de menor descarga fue significativa ($p = 0.00012$), mostró una intensidad media debido a que el coeficiente de correlación muestra

menos del 75% de la variabilidad ($r = -0.72$), lo que indica que los datos se encuentran dispersos con relación a la línea de tendencia del modelo de correlación (Figura 8a y 8c) comparada con el resto de las correlaciones.

En las relaciones de abundancia de grupos e individuos con la distancia a la costa para ambas temporadas mostraron correlaciones significativas ($p < 0.05$) de proporción inversa y de intensidad fuerte con valores de $r > -0.75$ (Figura 8b, 8d)

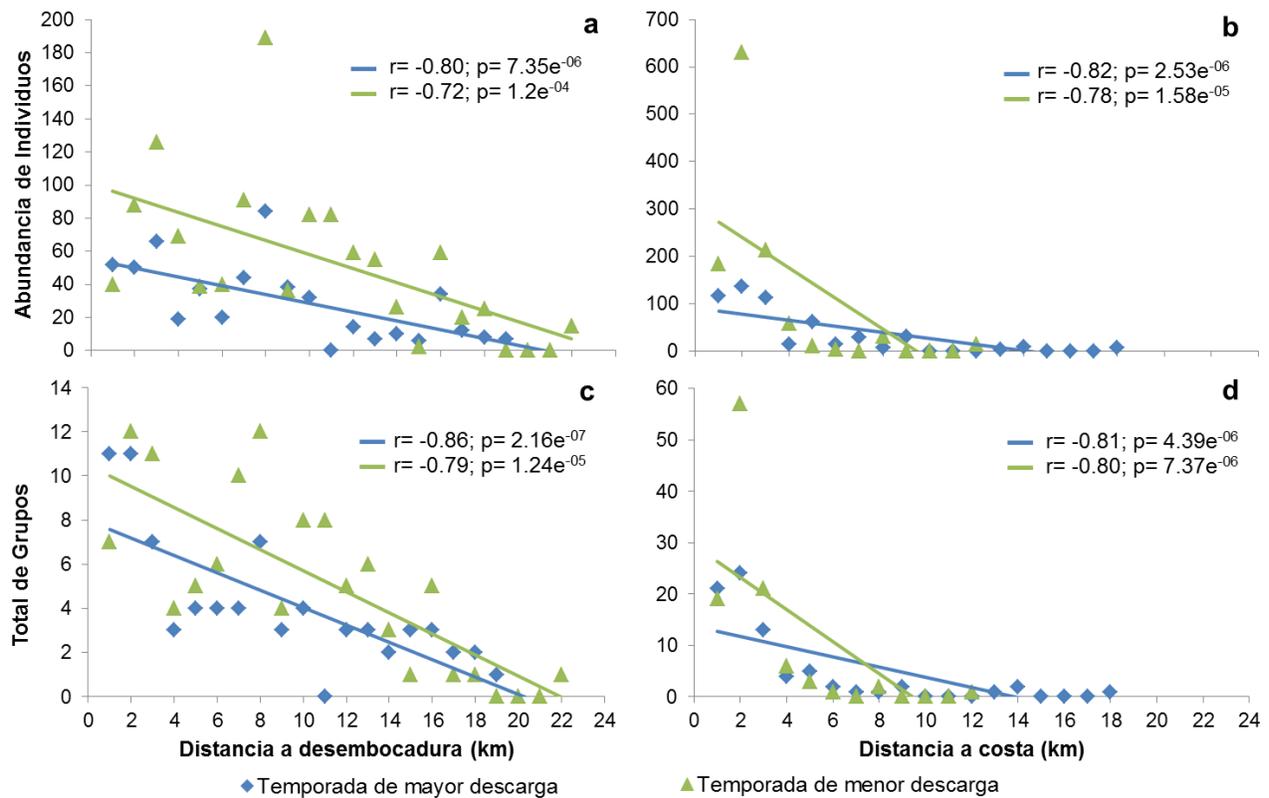


Figura 9. Movimientos y permanencia en temporadas de mayor y menor descarga de los grupos (c, d) e individuos (a, b) del delfín nariz de botella, con respecto a la cercanía de la costa (b, d) y de las desembocaduras continentales (a, c).

La distancia mínima de los sitios de avistamiento que se registró para la temporada de mayor descarga con respecto a la bocana de las descargas continentales fue de 260 m y la distancia máxima fue de 18 km. Mientras que la distancia mínima a la costa en la misma temporada fue de 208 m y máxima de 17 km.

Por otro lado, la distancia mínima de los mismos en la temporada de menor descarga con respecto a la bocana de los cuerpos de agua continentales fue de 482 m y máxima de 21 km. Mientras que la distancia mínima a la costa en la misma temporada fue de 170 m y máxima de 11 km.

6.3. Análisis de la relación espacial de la alimentación y crianza de tursiones hacia las desembocaduras de las descargas continentales.

Para los registros de crianza y alimentación con respecto a la desembocadura (Anexo 5), ambas correlaciones resultaron significativas y negativas. Sin embargo la correlación más fuerte se presentó en la frecuencia de crías por distancia a las desembocaduras, mientras que en la relación de la frecuencia alimenticia la correlación a pesar de mostrar una tendencia con un valor de $p < 0.05$ presentó una relación débil ($r = -0.78$, $p = 2.0 \times 10^{-5}$ y $r = -0.54$, $p = 0.009$, respectivamente) (Figura 10).

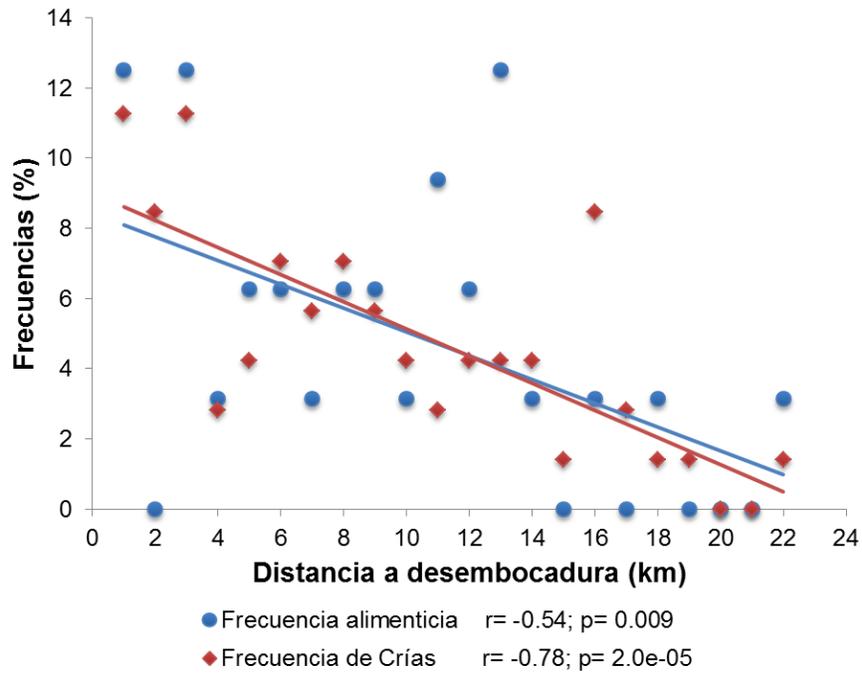


Figura 10. Correlaciones de Spearman entre la distancia a la desembocadura y la frecuencia alimenticia y de crías de *Tursiops truncatus*.

6.4. Análisis de influencia de las cuencas hidrográficas en la zona costera marina del norte de Veracruz

En el análisis espectral para las variables con influencias de la cuenca hidrográfica del Río Tuxpan se obtuvieron cuatro armónicos (oscilación entre dos fases) de mayor energía o amplitud para cada serie de Fourier (Figura 10). Dichos armónicos o señales presentaron diferentes valores de frecuencia. Por otro lado, los períodos (lapso de tiempo que transcurre entre dos señales de amplitudes similares) de las series de gasto promedio y clorofila “a” fueron equivalentes, mientras que los períodos de la serie de productividad primaria fueron diferentes, coincidiendo sólo en el período de 10 meses (Cuadro 4).

En el análisis espectral para el conjunto de variables influenciadas por la cuenca hidrográfica del Río Czones se obtuvieron cinco armónicos de mayor energía para cada serie de Fourier (Figura 11). Dichos armónicos o señales presentaron diferentes valores de frecuencia y periodicidad. Sin embargo, la serie de gasto promedio mostró similitudes periódicas con las otras dos variables de forma intercalada sin que logaran coincidir las tres series. Este fenómeno se presentó únicamente en los cuatro primeros períodos (Cuadro 4).

En cambio en el análisis espectral de las variables influenciadas por la cuenca hidrográfica del Río Nautla se obtuvieron cuatro máximos importantes en cada serie de Fourier (Figura 12) con el mismo fenómeno que se presentó en el análisis del segundo conjunto de series. Nuevamente los períodos de la serie de gasto

promedio fueron similares a otra serie, ya sea la serie de clorofila “a” o productividad primaria (Cuadro 4). Sin embargo, en este conjunto si se alcanzó una coincidencia en el último armónico con un período de 6 meses.

El armónico de mayor energía para la variable de gasto promedio en los tres conjuntos tuvo lugar en un período de 24 a 27 meses, mientras que la señal de mayor amplitud para la concentración de clorofila “a” se mantuvo constante en un período de 24 meses en los tres conjuntos, asimismo el armónico de mayor energía para la serie de productividad primaria se mostró invariable en un período de 27 meses. Los armónicos secundarios de P6 a P10 (Cuadro 4) oscilaron entre los períodos de 12, 10, 8, 7 y 6 meses.

Cuadro 4. Períodos de los armónicos de mayor energía en las series de Fourier de las variables influenciadas por tres cuencas hidrográficas del área de estudio.

| Cuenca hidrográfica | Variable | Períodos (P) | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 |
| Río Tuxpan (Tu) | Gasto | | 24 | | | | 12 | 10 | | 7 | |
| | Clorofila “a” | | 24 | | | | 12 | 10 | | 7 | |
| | Productividad Primaria | 27 | | | | | | 10 | 8 | | 6 |
| Río Cazones (Ca) | Gasto | 27 | | 19 | | | 12 | 10 | | 7 | |
| | Clorofila “a” | | 24 | 19 | | 14 | | 10 | 8 | | |
| | Productividad Primaria | 27 | | | 17 | | 12 | | 8 | | 6 |
| Río Nautla (Na) | Gasto | 27 | | | | | 12 | | 8 | | 6 |
| | Clorofila “a” | | 24 | | | | | 10 | 8 | | 6 |
| | Productividad Primaria | 27 | | | | | | 10 | | | 6 |

En las series de Fourier del gasto promedio para los tres ríos (Figura 10) se presentaron períodos bianuales y anuales, mientras que los demás armónicos

oscilaron entre los diez, ocho, siete y seis meses. Siendo el río Tuxpan el que presentó los armónicos de mayor energía, seguido del río Cazones y por último el río Nautla.

En las series de Fourier de concentración de clorofila "a" (Figura 11), los armónicos de mayor energía mostraron similitudes bianuales y en el período de diez meses, los demás armónicos se ubicaron entre los ocho, siete y seis meses. El río Nautla fue el que presentó las amplitudes más altas, con pulsos más constantes y períodos más cortos, seguido del río Tuxpan y después del río Cazones.

Las series de Fourier de productividad primaria (Figura 12) presentaron el armónico de mayor energía en un período de 27 meses y entre los armónicos secundarios destacó el de un período de seis meses. Los períodos localizados entre el P1 y P10 (Cuadro 4) son pulsos compartidos sólo entre dos descargas de manera intercalada. Nuevamente el río Nautla presentó los armónicos de mayor energía, seguido del río Tuxpan y por último el río Cazones con los valores más bajos de energía.

Comparado con los demás sistemas, la desembocadura del río Cazones presentó un desfase al ostentar armónicos con períodos de 19, 17 y 14 meses, comportamiento no repetitivo para las mismas variables en los otros dos sitios.

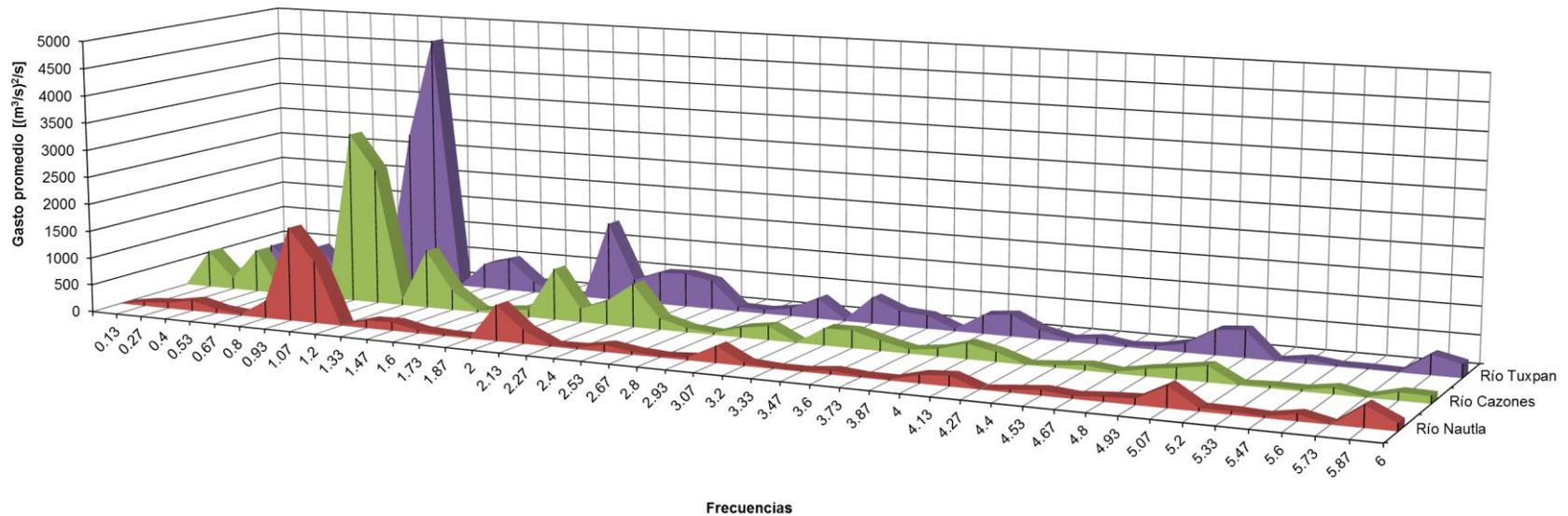


Figura 11. Periodograma de la serie temporal de gasto promedio para tres ríos del área de estudio. En el río Tuxpan las frecuencias 1.07, 2, 2.4 y 3.33 representan a los armónicos de más relevantes. En el río Cazones las frecuencias 0.93, 1.33, 2, 2.4 y 3.47 representan a los armónicos más significativos. Las frecuencias indicadoras de los armónicos de mayor amplitud para el río Nautla son 0.93, 2, 3.07 y 4.13.

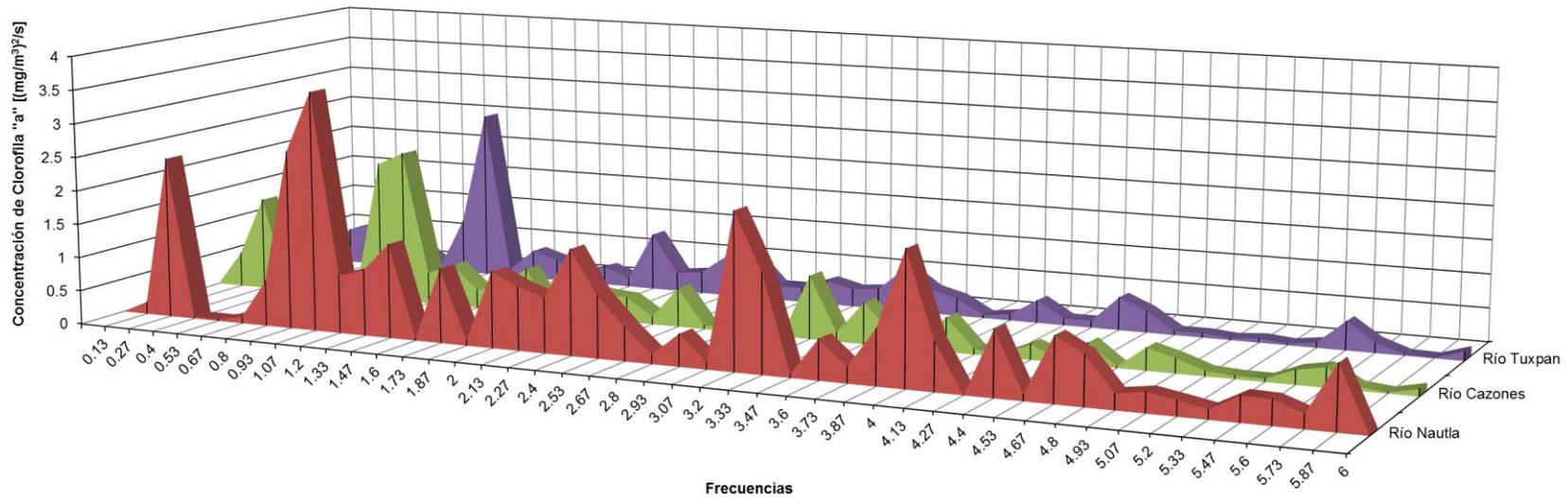


Figura 12. Periodograma de la serie temporal de concentración de clorofila “a” para tres ríos del área de estudio. En el río Tuxpan las frecuencias 1.07, 2, 2.53 y 3.33 representan a los armónicos de más relevantes. En el río Cazones las frecuencias 1.07, 1.33, 1.73, 2.53 y 3.2 representan a los armónicos más significativos. Las frecuencias indicadoras de los armónicos de mayor amplitud para el río Nautla son 1.07, 2.4, 3.2 y 4.

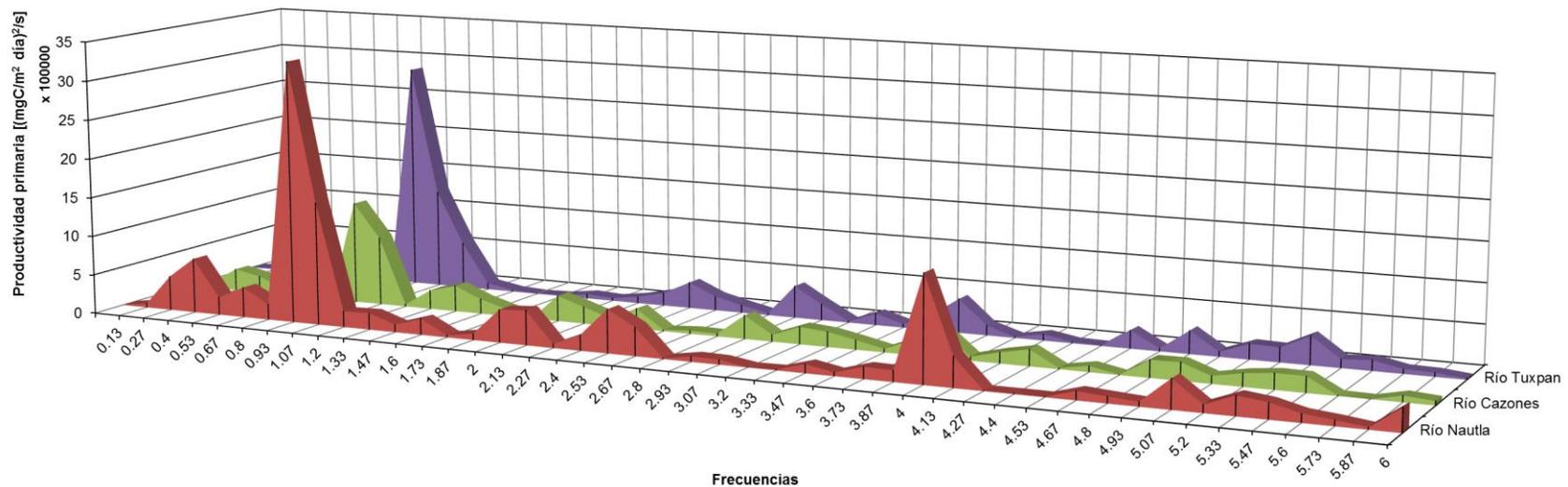


Figura 13. Periodograma de la serie temporal de la productividad primaria para tres ríos del área de estudio. En el río Tuxpan las frecuencias 0.93, 2.4, 2.93 y 3.73 representan a los armónicos máximos. En el río Cazonos las frecuencias 0.93, 1.47, 2, 2.93 y 3.87 representan a los armónicos más significativos. Las frecuencias indicadoras de los armónicos de mayor amplitud para el río Nautla con 0.93, 2.13, 2.53 y 4.

VII. DISCUSIÓN

7.1. Distribución del delfín nariz de botella en la zona costera marina norte de Veracruz

Las variaciones presentadas en concentración de grupos e individuos en cada polígono señalaron diferencias significativas; mostraron que la mayor concentración de grupos se presentó en el polígono correspondiente al río Tuxpan (Tu), mientras que la mayor abundancia de individuos se localizó en el polígono del río Cazonés, resultados que coinciden con lo descrito por Vázquez-Castán (2010) y Martínez-Serrano *et al.* (2012) acerca de una permanencia de ciertos animales alrededor de la influencia de estas descargas. Esto puede estar relacionado con las altas concentraciones de clorofila “a” que se han registrado para las áreas de influencia de las plumas de ríos o estuarios (Vidal *et al.* 1990; Caso *et al.*, 2005) lo que conlleva a sitios de alta productividad por el constante proceso fotosintético del fitoplancton en los deltas de los ríos como lo describe Santamaría-del Ángel *et al.* (1996) para el delta del Río Colorado en el Mar de Cortés. Entonces, la presencia de sitios tan productivos, como las desembocaduras, pueden atraer a numerosos grupos del delfín nariz de botella.

Obtener los valores más altos en la tasa de individuos en los polígonos de Cazonés y Tecolutla (considerando que sólo se efectuaron 16 y 13 monitoreos respectivamente), se debe a que estas áreas, que están bajo con la influencia del

río Cazonas y río Tecolutla, son centros potenciales de permanencia de los individuos, como posible respuesta al alto recurso alimenticio. Martínez-Serrano *et al.* (2012) ubicaron las afueras de la Laguna de Tamiahua como un sitio de permanencia de individuos, mientras que en este estudio el polígono de Tamiahua fue el segundo con el valor más bajo en la frecuencia de individuos, aun cuando en él se realizó el mismo esfuerzo de muestreo que en la zona de Tecolutla. Esto puede indicar que los polígonos adyacentes (Tuxpan, Nautla y Tamiahua) a los centros potenciales de permanencia son zonas de permanencia temporal. A pesar de que se obtuvo la abundancia más alta en el polígono de Tuxpan su valor en tasa de ponderación de los individuos fue bajo, siendo resultado de una baja preferencia o un desplazamiento temporal de los individuos en esta zona. Los cinco polígonos pueden poseer características productivas y físicas similares, por tanto las diferencias en las frecuencias sea causa de la repartición de recursos tróficos y delimitación del espacio (Würsig, 1979; Platell y Potter, 1999; Morteo *et al.*, 2004)

Por otro lado, estudios anteriores en la Laguna de Tamiahua por Heckel (1992) y Shramm (1993) comprobaron que existe una fidelidad al sitio de algunos individuos de la población, además comentarios de los pescadores locales corroboran el hecho de que los delfines ingresaban a la Laguna de Tamiahua con fines de alimentación y vivienda como se ha estudiado para la Laguna de Sarasota, Florida (McHugh *et al.*, 2011). No obstante, después de incidentes causados por intentos de captura de los organismos, estos se desplazaron hacia el litoral (de acuerdo a pescadores locales) pero conservando afinidad al sitio

como parte de su ámbito hogareño, así como fue evaluado por Martínez-Serrano *et al.* (2012). Lo cual conlleva a que aún con la influencia humana y el tráfico de embarcaciones justo como menciona Retureta Delgado (2012), la especie ha permanecido afín a las cercanías con la laguna probablemente por la alta productividad que presenta y la continua disponibilidad de presas.

7.2. Dinámica espacio-temporal de la población del delfín nariz de botella con respecto a la distancia a la costa y desembocaduras.

Los resultados obtenidos para la distancia hacia la costa en las dos primeras relaciones presentaron una tendencia de los grupos e individuos a agruparse cerca de la costa, mostrando más del 80% de los mismos en una distancia no mayor de tres kilómetros y una distancia promedio de 2.3 km. Esta medida es superada por de la distancia promedio reportada por Martínez-Serrano *et al.* (2012), menor a la registrada por Retureta Delgado (2012) y por Valdes-Arellanes *et al.* (2011) para la zona de Tamiahua y Tuxpan, y mayor a la estudiada en la Bahía de San Quintín (Morteo *et al.*, 2004). Fazioli *et al.* (2006) registró ampliaciones de distancias con respecto a la costa entre individuos de estuarios y oceánicos (1.9 km y 4.8 km respectivamente) en la costa central oriente de Florida, Estados Unidos y proponen que las diferentes distancias determinan los límites de su distribución. Sin embargo, el intervalo de los tres y 2.3 kilómetros se mantienen dentro de la distancia promedio sugerida por Wells *et al.* (1999) y Torres *et al.* (2003), menor a ocho km correspondientes a los movimientos

costeros de la especie. Entonces el uso de la zona costera de Veracruz por los tursiones se limita a los tres kilómetros a partir de la costa.

Retureta Delgado (2012) menciona que la mayor actividad de la población registrada no supera los ocho kilómetros, mientras que en este estudio la mayoría de los desplazamientos se registraron en un intervalo de tres kilómetros hacia la costa. Es importante señalar que la zona de estudio pertenece a un sistema abierto y este comportamiento es común para sistemas semicerrados como lagunas costeras (Wells, 2003). Por lo que se infiere que el área de estudio presenta la productividad necesaria para sostener a los grupos del delfín nariz de botella y satisfacer sus necesidades básicas como alimentación y crianza, en una fracción tan cercana a la costa tal como lo sugieren Martínez-Serrano *et al.* (2012).

Se observó que en la permanencia de los individuos y grupos dentro de un intervalo de tres kilómetros con respecto a la costa, los mismos podían continuar relacionados con la desembocadura de la laguna y ríos a una distancia máxima de 18 km, pensando que puedan permanecer a lo largo de la costa en zonas cercanas a la desembocadura justo como sugieren Martínez-Serrano *et al.* (2012). Además al registrar más del 80% de la abundancia de la especie dentro de un radio de 12 km a partir de la bocana de los ríos y laguna sugiere que los organismos se agrupan en los límites de la pluma de los ríos o estuarios con el agua oceánica, suceso similar a la relación indirecta que fue estudiada por Bearzi *et al.* (2008) en la zona de influencia del Rio Po en el noroeste del Mar Adriático. Es probable que estas diferencias en distancias estén relacionadas a la

disponibilidad de alimento, efecto indirecto de la dispersión de nutrientes por aporte de las cuencas, así como del uso del hábitat a nivel local y regional (Retureta Delgado, 2012).

La conclusión dada por Bearzi *et al.*, (2008) acerca de la influencia del Río Po sobre la dinámica poblacional del delfín nariz de botella proviene de los valores de anomalía de densidad del agua como variable predictiva, la cual varía dependiendo de la descarga del río, ya que en época de mayor descarga es cuando la pluma posee una mayor amplitud y los delfines tienden a situarse en el límite de la misma. Este resultado fue observado por Martínez-Serrano *et al.* (2012) con la ampliación del ámbito hogareño en época de lluvias, cuando el área de influencia de la descarga aumenta. Lo cual concuerda con los resultados del presente estudio siendo la correlación más fuerte en la temporada de mayor descarga asociada al total de grupos, lo que sugiere que sus desplazamientos concuerdan con el área de influencia de la pluma por la alta aportación hídrica y la expansión debido a la circulación costera.

La relación de la abundancia de individuos y grupos con la distancia a la costa en las dos temporadas, sugiere que existe una dispersión de los delfines a lo largo de la costa, ya que aun en temporada de menor descarga las masas de agua salobre de los cuerpos de agua continentales se pueden propagar de forma paralela a la costa por medio de la fuerza de los vientos y la circulación en la columna de agua (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2006).

El valor del coeficiente de correlación que presentaron ambas categorías de distancias, una respecto a la costa y la otra con respecto a las principales descargas continentales, en razón a la abundancia de individuos y formación de grupos, sugiere que los avistamientos de esta especie para este sistema serán más numerosos mientras menos distancia exista hacia la costa o hacia las desembocaduras. Würsig (1979) señala que los grupos del delfín nariz de botella constantemente permanecen en áreas de alta concentración de presas, así que es probable que debido al aumento en abundancia de la especie cerca de la costa y desembocaduras la zona costera norte de Veracruz sea un área de alta y continua concentración de presas, conclusión similar a la que llegaron Morteo *et al.* (2004) para la bahía de San Quintín en Baja California, México. También cabe la posibilidad (o es probable) que por tener constante acceso de alimento y de presas óptimas en esta región, no sea conveniente para los grupos e individuos de la especie el tener un mayor gasto energético en la búsqueda de zonas de mayor productividad (Torres y Read, 2009).

El análisis de los tamaños de grupo presentó una notoria dispersión de los datos en la relación con la distancia a las desembocaduras, esto señala que no existe una tendencia por la formación de grupos menos numeroso o más numeroso con respecto a la presencia de descargas de masas de agua continental. Sin embargo, se presentó una tendencia significativa de más agrupaciones con un tamaño promedio de siete individuos a medida que se acercaban a la costa. Este tamaño de grupo esta registrado por Vázquez-Castán (2010) para la misma área de estudio y es menor que los reportado por otros estudios realizados en *Tursiops*

truncatus para sistemas abiertos (Irvine *et al.*, 1981; Morteo *et al.*, 2004). Una hipótesis para este fenómeno, es que en las zonas circundantes a la bocana de ríos o lagunas con alta productividad, se formen grupos que varíen en cantidad de individuos con el objetivo de colaborar en la repartición de recursos tróficos, es decir la captura equitativa de presas con el menor costo energético (Platell *et al.*, 1998; Platell y Potter, 1999; Davies *et al.*, 2012)

A escala local las relaciones de los grupos y los individuos con respecto a la bocana de las descargas, las únicas que fueron significativas y mostraron una tendencia fue la de Tecolutla y Tuxpan. Lo anterior puede estar relacionado a que en esta área se encontró una mayor proporción de individuos por salida a campo, marcando una notoria diferencia con el resto de los polígonos. Esto puede ser un indicador para sitios óptimos de avistamiento, tomando en cuenta que se pueden localizar más grupos en un área cercana a la desembocadura del río Tuxpan y más individuos con un menor esfuerzo de muestreo en un área circundante al río Tecolutla.

7.3. Relación espacial de la alimentación y crianza de tursiones hacia las desembocaduras de las descargas continentales.

La selección de hábitat va acorde a las necesidades de la especie y el contar con zonas de alimentación y de crianza en un sistema aumenta el grado de permanencia o presencia de una población ya sea migratoria como el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) (González-Máynez *et al.*, 2013) o residente como el lobo

marino de California (*Zalophus californianus*) (Auriolles-Gamboa y Zavala-González, 1994; Szteren y Auriolles-Gamboa, 2011).

La tendencia que se encontró en la relación de la frecuencia alimenticia con la distancia a las desembocaduras significa que es un área que funge como zona óptima de alimentación. Por otro lado, la dispersión de los datos no permite encontrar una fuerte correlación, este fenómeno puede deberse a la falta de observación del comportamiento durante el avistamiento o a la difusión de la productividad a lo largo de la costa por medio de las corrientes, cuyo efecto recae en la atracción y concentración de grupos e individuos. Esta última explicación se basa en el evento de reflujo de nutrientes que se origina a partir de la constante descarga de ríos y lagunas cuyas desembocaduras son cercanas (Skreslet, 1986), sin perder de vista que los ríos Tuxpan y Tecolutla están catalogados como descargas principales en Veracruz (Peresbarbosa Rojas, 2005). Además el efecto en el aumento de los organismos del zooplancton o consumidores primarios viene seguido de la disminución del fitoplancton reflejado después de un evento de lluvia, como fue estudiado para la desembocadura y parte del litoral del río Tuxpan por Orduña Medrano (2012). Entonces el aumento de consumidores primarios posterior a una proliferación de fitoplancton conlleva a una atracción de presas y sus correspondientes depredadores.

La fuerte relación de avistamiento de crías con la distancia a las desembocaduras apunta a un acercamiento de grupos con crías al área de la pluma de las descargas, lo que puede significar que en estas zonas se localizan presas

pequeñas con las que las crías de delfín inician su alimentación después del destete o con las que las crías pueden implementar sus tácticas de forrajeo (Würsig, 1979; Gannon y Waples, 2004; Torres y Read, 2009). Las hembras después del parto, reducen la demanda energética al estar cerca o en zonas de óptima producción de presas (Wells, 1991), por tanto el sistema brinda de un beneficio adecuado para los grupos con crías y hembras (en un evento postparto) al situar su hábitat en la cercanía a las desembocaduras ya que obtienen alimento y resguardo (Retureta Delgado, 2012).

7.4. Influencia de cinco descargas continentales en la zona costera marina del norte de Veracruz

Períodos similares se encuentran en las series de Fourier de gasto promedio y clorofila "a" para la descarga del río Tuxpan. En septiembre de 2007 y 2009 se presentó la concentración más alta de clorofila "a", los cuales corresponden a los mismos eventos máximos de la serie temporal de gasto promedio (Anexo 6). Dicho evento puede deberse a que el aumento brusco de mezcla en la columna de agua por máximos de descarga ocasiona un levantamiento de sustrato que alberga organismos del fitoplancton (Svendsen, 1986; Therriault y Levasseur, 1986), los cuales al estar sometidos a cortos períodos de contacto con agua superficial y radiación solar variable, pueden estar presentando un proceso fotosintético más eficiente y valores máximos de irradiancia (Santamaría del Ángel *et al.*, 1996).

Los máximos anuales de gasto promedio con períodos de 12 meses (Cuadro 4) también tienen cierta influencia en los valores anuales más altos de clorofila “a”, produciendo ciclos de aumento en el pigmento ya sea en los meses de julio, septiembre u octubre en cada año (Anexo 6) (Smetacek, 1986). Esto puede ser producto del tiempo limitado de retención del agua en el cauce de los ríos o lagunas por intensas descargas (Contreras, 2001; Lohrenz *et al.*, 2008).

La temporada establecida en este trabajo como la de mayor descarga (de julio a noviembre), se entrelazan con los meses donde se localizan las mayores concentraciones del pigmento ($>3 \text{ mg/m}^3$). Estas últimas marcan las oscilaciones entre los meses transcurridos para que tenga lugar los períodos de mayor descarga hídrica del río y concentración de clorofila. Dichas similitudes pueden estar explicando la relación entre la descarga del río con el comportamiento del fitoplancton como fue determinado por Orduña Medrano (2012), donde los meses de mayor diversidad fitoplanctónica correspondían a los meses de junio, julio y septiembre, pues el drenado de la cuenca conlleva nutrientes y microalgas, algunas eurihalinas y euritermas, lo que aumenta la riqueza en la zona de intercambio costera, creando una reacción proporcional ante la temporada de mayor escurrimiento de la cuenca con altos valores de clorofila.

No obstante el gasto no es el único elemento que influye en dichas concentraciones de clorofila, ya que en algunos años como en el 2005 y 2009 de la serie temporal de clorofila (Anexo 6) se observa que hay un desfase de los meses con la serie de gasto promedio. Esto puede deberse a dos razones, en

primer lugar el aumento de la influencia hídrica de la cuenca incrementa la riqueza de fitoplancton, pero al finalizar las lluvias existe una mayor abundancia por organismos dominantes (Orduña Medrano, 2012) manteniendo sus niveles de biomasa y productividad. Por otro lado, las corrientes oceánicas de la plataforma continental pueden ejercer mayor fuerza ante las masas de agua salobre del continente y por lo tanto prolongar el afloramiento del fitoplancton en un sistema eurihalino con intercambio mareal (Garvine, 1986; Skreslet, 1986; Therriault y Levasseur, 1986). Un suceso similar se reporta en las lagunas costeras de Chiapas por Gutiérrez Mendieta *et al.* (2006), donde la mezcla que es producida por el ingreso de agua marina y la constante descarga continental favorece la resuspensión de sedimentos, aumentando la turbidez y enfatizando la concentración de nutrientes, lo que coincide para este sistema donde la circulación favorece el levantamiento de flora fitoplanctónica (Orduña Medrano, 2012) así como en otros sistemas de cuencas hidrográficas exorreicas (Lohrenz *et al.*, 2008).

Los armónicos de la serie de Fourier de productividad primaria no parecen mostrar similitudes con la series de gasto y clorofila "a", sin embargo al ser la clorofila un indicador de las fluctuaciones interanuales en productividad puede que la reacción no sea inmediata (lag time) y que el lapso de tiempo para que se vea reflejada dure semanas, como se ha podido evaluar en el Golfo de San Lorenzo, Canadá, donde la respuesta de biomasa planctónica a las descargas del estuario se prolonga hasta por 80 días (Skreslet, 1986). Incluso de forma espacial la respuesta en producción planctónica se puede desplazar hacia los límites de la

pluma y disiparse aun cuando la temporada de mayor gasto haya llegado a su fin, y debido a que la fuerza de advección mantiene circulante la productividad en área costera que está directamente influenciada por plumas de ríos o estuarios (Garvine, 1986; Skreslet, 1986).

No obstante en la desembocadura del río Cazonas las variables tuvieron un comportamiento diferente, pues se presentaron más armónicos de diferentes períodos (Cuadro 4), ocasionando que los pulsos de los máximos fueran más cercanos y con aumentos abruptos posterior a un decrecimiento. Esto es posible debido a la hidrología de la cuenca. Esta cuenca a pesar de ser la de menor cauce posee una capacidad de respuesta rápida ante los eventos de lluvias, es decir, existe una menor fricción durante el escurrimiento de los ríos facilitando la descarga hídrica y en efecto un énfasis de mezcla en la columna de agua (Peresbarbosa Rojas, 2005). Lo anterior produce reacciones fotosintéticas instantáneas y posteriormente una rápida estratificación homogeneizando las concentraciones del pigmento (Svendsen, 1986).

Otro sistema local que funciona de manera semejante al del río Tuxpan es la desembocadura del río Nautla, presentando sus máximos en gasto, clorofila y productividad en diferentes meses. En este caso se presentan máximos con incrementos paulatinos, la razón puede radicar en la estructura hidrológica de la cuenca hidrográfica del Río Nautla pues cuenta con más efluentes de subcuencas con descarga al mar. Con este arreglo existe la posibilidad de una combinación de flujo de los efluentes en la costa de la cuenca debido al desplazamiento de las

masas de agua, en este caso las plumas, hacia la derecha como fruto del efecto de Coriolis (Garvine, 1986; Mann y Lazier, 2006). Por lo tanto añadiendo este factor y la influencia de los eventos de mayor descarga es probable que se presenten fluctuaciones en lugar de aumentos bruscos en las tres series.

Tomando en cuenta que hicieron falta los registros de dos descargas, se puede notar que existe una marcada relación en los períodos de los armónicos del gasto promedio con las otras dos variables. Aunado a esto, la distancia que existe entre cada desembocadura, el contorno de la costa que según Dubranna *et al.* (2011) favorece la continuidad de la velocidad de las corrientes costeras y el esfuerzo del viento, correlacionado con la circulación superficial ($r > 0.70$, Dubranna *et al.*, 2011), propician una recirculación a lo largo de la costa desde la Laguna de Tamiahua hasta el río Nautla (Zavala-Hudalgo *et al.*, 2006; Dubranna *et al.*, 2011). Debido a este fenómeno costero se produce una mezcla de las áreas de influencia de las plumas, dependiendo de la dirección de las corrientes. También se localizan los aportes de los efluentes de las subcuencas que drenan hacia el mar y por lo tanto contribuyen a la conexión entre las plumas de las descargas principales de la costa (Mann y Lazier, 2006).

En un análisis de Dubranna *et al.* (2011) sobre la circulación de la plataforma continental mexicana entre las latitudes 20°N y 22°N son ubicadas dos estaciones ARN y LNK desde las cuales se midieron los cambios de dirección de la corriente superficial y su intensidad (Figura 13). Entre los resultados, el cambio de dirección de la circulación superficial fue atribuido al esfuerzo del viento, donde el

desplazamiento de las masas de agua con dirección al noroeste es dominante en un 70% en la temporada de primavera-verano, mientras que en la temporada de otoño-invierno la circulación cambia de dirección hacia el sureste siendo dominada en un 74% por vientos de noroeste a sureste o hacia abajo.

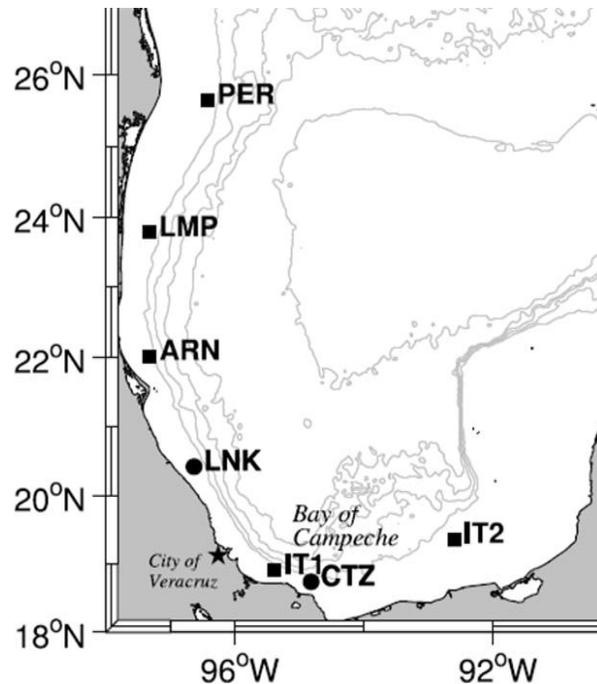


Figura 14. Posición de las boyas estacionarias a lo largo de la isobata de 130 m (Modificado de Dubranna *et al.*, 2011).

En los meses de septiembre y octubre del período de estudio de Dubranna *et al.* (2011) (los cuales corresponden a la temporada de otoño-invierno) se registraron los eventos de mayor esfuerzo del viento con velocidad promedio de 40 a 60 cm/s y una circulación superficial de noroeste a sureste (hacia abajo), con un reflejo de las velocidades en la próxima estación (LNK) en un período mínimo de dos días (Figura 14). Por lo tanto el aporte costero de agua salobre de los ríos y lagunas de

las cuencas hidrográficas de la zona de estudio obedece dicha circulación, con la posibilidad de contacto entre las áreas de influencia de las plumas adyacentes.

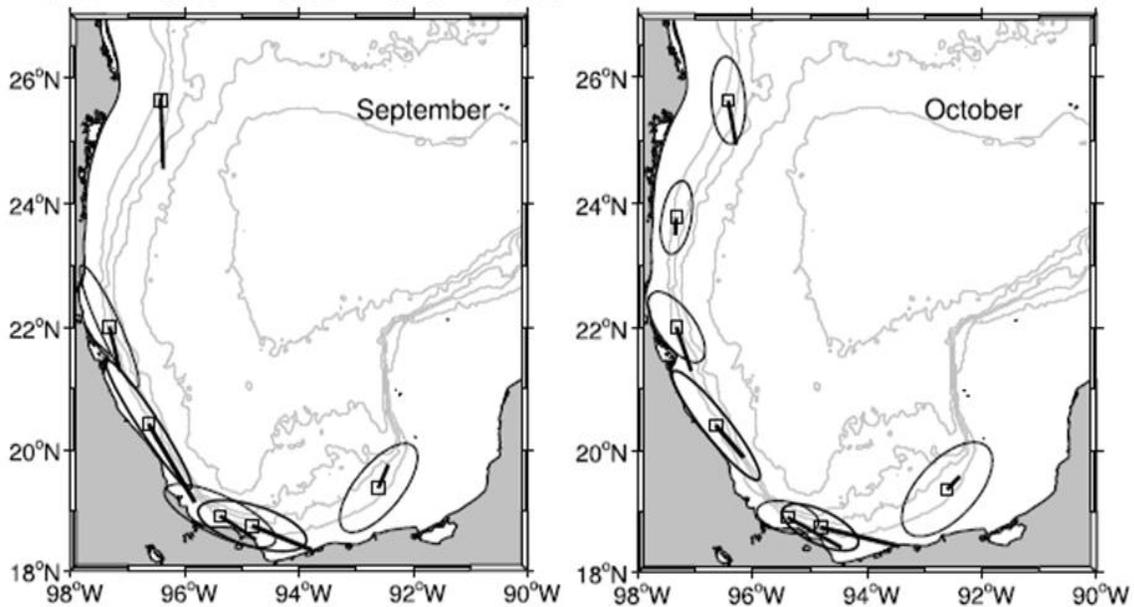


Figura 15. Eventos máximos de corriente superficial media en los meses de septiembre y octubre de la temporada de otoño-invierno y sus respectivas elipses de desviación estándar. Las líneas sólidas representan la intensidad del esfuerzo del viento (Modificado de Dubranna *et al.*, 2011).

Considerando que en la temporada de mayor descarga establecida en el presente estudio están incluidos estos dos meses y que los eventos máximos de gasto promedio con período bianual se localizaron en los meses de septiembre, el efecto de la interacción entre las masas de agua salobre derivadas de las máximas descargas y las corrientes oceánicas es apreciable. Además la fuerza con que el viento rige dicha circulación refuerza la hipótesis de que existe un contacto entre las plumas de los ríos y en efecto una mezcla de las masas de agua salobre, manteniendo una influencia continental en la zona costera.

Asimismo la circulación de sureste al noroeste o hacia arriba, puede ocasionar la mezcla de agua salobre de las plumas de los ríos, pues alcanza velocidades de hasta 90 cm/s (Dubranna *et al.*, 2011), sin embargo es posible que la influencia sea mínima pues la fuerza de descarga disminuye en la temporada de menor descarga.

Además las masas de agua que alcanzan el talud continental son redirigidas hacia la costa por un sistema bipolar de remolinos de mesoescala: uno ciclónico ubicado al sur y uno anticiclónico situado al norte (Vidal *et al.*, 1994); también por los giros de microescala que se producen cerca del litoral en la plataforma continental frente a los municipios de la Tamiahua, Tuxpan y Cazes; a su vez las corrientes en el litoral viajan hacia el sur en la mayoría de las estaciones gracias al viento, pues funge como agente de forzamiento dominante (Sánchez Díaz 2012). Por lo tanto la recirculación ocasionada por el esfuerzo del viento, los remolinos y el ingreso de agua salobre distribuye los nutrientes, materia orgánica y biomasa planctónica a lo largo de toda el área de estudio generando un reflujo productivo en el sistema.

Estos casos de reflujo productivo varían de forma cíclica ya sea temporal, anual y/o bianual, debido a la dinámica regional de la circulación costera (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2006) y las descargas continentales, lo que influye de manera directa en la distribución de cadenas tróficas de los productores primarios, secundarios, mesodepredadores y depredadores tope como el delfín nariz de botella.

VIII. CONCLUSIONES

Existe una distribución de la especie de delfín nariz de botella en la zona costera marina del norte de Veracruz, especialmente en áreas circundantes al río Cazones, al río Tecolutla, al río Tuxpan y a la Laguna de Tamiahua.

La mayor actividad de la especie se vio manifestada dentro de los tres primeros kilómetros de la costa, así como movimientos a lo largo de la misma.

El desplazamiento de la especie está relacionado a la presencia de las descargas continentales de la región. Permanecen en la bocana de los ríos y de la laguna, hasta una distancia de 12 kilómetros con respecto a la bocana de los cuerpos de agua o a los límites de la pluma donde aún llega la influencia del drenado de las cuencas.

La aportación de las descargas continentales (las cuales acarrean tanto nutrientes como diferentes componentes abióticos y bióticos), influyen en la selección del área física correspondiente al ámbito hogareño de los grupos del delfín nariz de botella.

El sistema costero desde el litoral de la laguna de Tamiahua hasta el litoral del río Nautla es un sitio adecuado para la crianza y alimentación, especialmente en la cercanía con las desembocaduras continentales.

La entrada de agua salobre en la zona costera marina influye en los pulsos de concentración de clorofila “a” y de productividad primaria. Dichas señales son más notorias en la temporada de mayor descarga, es decir de julio a noviembre.

El arrastre de materia orgánica e inorgánica desde la cuenca alta hasta la zona de almacenamiento de la región hidrológica Tuxpan-Nautla, y su aportación en el sistema costero se ve reflejado por los aumentos drásticos en las concentraciones de clorofila “a” en los meses de agosto, septiembre y octubre justo cuando son máximos de descarga. De igual manera los valores de la productividad primaria pero con concentraciones prolongadas.

La contribución del reflujo productivo en la costa debido a la aportación continental de las cuencas hidrográficas exorreicas durante las temporadas de mayor descarga y menor descarga; la circulación superficial por el esfuerzo del viento con un régimen de transporte de masas de agua que fluye hacia el norte o hacia el sur; y por giros de meso y micro escala que se encuentran en los límites y dentro del área de estudio, respectivamente, permiten un almacenamiento de alto valor en productividad fungiendo como sostén de complejas redes tróficas y de depredadores tope como el delfín nariz de botella.

IX. APLICACIONES PRÁCTICAS DEL TRABAJO

Con base en los datos obtenidos en el presente trabajo y tras la revisión de investigaciones previas realizadas tanto para el área de estudio como para otras zonas costeras de México y otros países, se proponen las siguientes aplicaciones.

9.1. Ajuste de protocolos para avistamientos del delfín nariz de botella, *Tursiops truncatus* del ecotipo costero.

La eficiencia, entendida como avistamientos exitosos por la inversión adecuada de tiempo, es un aspecto importante a considerar en los avistamientos de delfines del ecotipo costero.

En el presente trabajo se encontró que más del 80% de los grupos e individuos de la especie se desplazan dentro de los primeros tres kilómetros con respecto a la costa y en un radio de 12 kilómetros a partir de la bocana del río Cazones, río Tecolutla, Laguna de Tamiahua, río Tuxpan y río Nautla, (en orden de prioridad). Se confirmó una fuerte relación entre la distancia hacia las desembocaduras con un aumento en la abundancia de los grupos e individuos; misma tendencia en el aumento de crías y débil pero significativa con un aumento en la frecuencia alimenticia. En eventos de mayor descarga (de julio a noviembre) se observaron a los delfines a una distancia mínima a las bocanas de 260 metros, además la

relación se mantuvo fuerte mostrando un incremento en abundancia de grupos e individuos en el área circundante a las desembocaduras.

Por lo tanto, se proponen las siguientes pautas para hacer eficientes y aumentar el éxito de los avistamientos de futuras observaciones del delfín nariz de botella:

- Programar los monitoreos en temporada de secas o después de una súbita descarga de los ríos, con énfasis en el periodo de mayor derrame continental (julio-noviembre), ya que hay una influencia o amplitud de la pluma de los ríos varía dependiendo de la intensidad del gasto de la cuenca hidrográfica exorreica.
- Efectuar los viajes en una embarcación (las dimensiones de la embarcación dependerán de los fines del monitoreo), de preferencia en las cercanías de las desembocaduras, tomando como prioridad las descargas con mayor impacto en la productividad costera. Para la zona costera norte de Veracruz se propone el siguiente orden: el río Cazones, río Tecolutla, la Laguna de Tamiahua, río Tuxpan y río Nautla.
- Realizar navegaciones sin superar los tres kilómetros con respecto a la costa, y en el caso de presencia de desembocaduras de cuerpos de agua continentales, permanecer en un radio de 12 kilómetros (Figura 16).

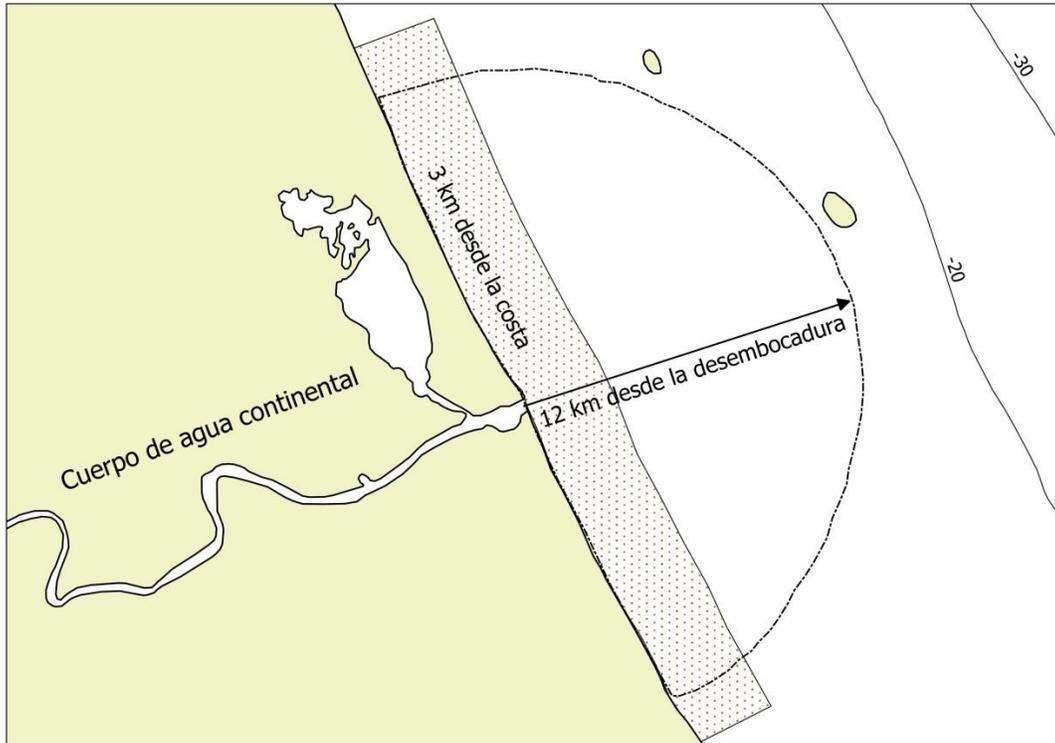


Figura 16. Croquis de distancias recomendadas para avistamientos exitosos de grupos e individuos del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) del ecotipo costero, con respecto a la costa hasta tres kilómetros y desembocadura de los cuerpos de agua continentales hasta 12 km, en la zona costera del norte de Veracruz.

Las ventajas de incluir las pautas anteriores dentro de los protocolos para avistamientos de *Tursiops* del ecotipo costero, son aumentar la probabilidad de las zonas de mayor abundancia y contar con registros de mayor actividad. Las distancias previamente definidas pueden variar de acuerdo a las condiciones ecológicas locales de los sistemas abiertos. Asimismo, se deben contemplar los factores oceanográficos que definan el desplazamiento de las plumas de los ríos.

9.2. Propuesta de regionalización ecológica de la zona costera norte de Veracruz usando a los grupos del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) como herramienta de conservación.

La zona costera marina del norte de Veracruz se caracteriza por tener una circulación superficial dominada por el esfuerzo del viento, conservando velocidades similares a partir del límite de Tamaulipas con Veracruz hasta el término del municipio de Nautla y la forma lineal de la costa favorece a que las corrientes viajen paralelas a esta (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Dubranna *et al.*, 2011). Asimismo se generan giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala en el talud continental, y de microescala en la plataforma continental frente a los municipios de Tamiahua (Vidal *et al.*, 1994), Tuxpan y Cazones los cuales dirigen las masas de agua oceánicas hacia el litoral creando un reflujo y siendo desplazadas de forma paralela hacia el sur del estado en conjunto con las corrientes influenciadas por el esfuerzo del viento (Sánchez Díaz, 2012).

En la sección continental de la zona costera del norte de Veracruz, la influencia hídrica se ve reflejada con las descargas de las cuencas hidrográficas exorreicas: la Laguna de Tamiahua, el río Tuxpan, el río Cazones, el río Tecolutla y el río Nautla. Debido a los incrementos de descargas se refleja un aumento periódico en las concentraciones de clorofila "a" y productividad. Estas señales máximas se observan en los meses de lluvia, principalmente en septiembre cuando los volúmenes de agua son mayores, lo que propicia un arrastre de componentes bióticos como especies del fitoplancton y abióticos como los nutrientes, causando

que litoral se vuelva más diverso y productivo (Lohrenz *et al.*, 2008; Orduña Medrano, 2012).

El movimiento espacio-temporal del objeto biótico *Tursiops truncatus* (del ecotipo costero) se encuentra con una fuerte relación por las cercanías a las desembocaduras de los cuatro ríos y una laguna costera, así como a la costa de la zona costera norte de Veracruz. En cuanto a la frecuencia de las categorías conductuales de alimentación y crianza, se marca un área circundante a las desembocaduras como sitios primordiales para los grupos e individuos en todas sus etapas fisiológicas (Martínez-Serrano *et al.*, 2011).

Con base en el análisis de comportamiento de las variables ambientales del sistema y su notoria relación con los desplazamientos del depredador tope *Tursiops truncatus*, se puede concebir a la sección continental y oceánica como una región ecológica con carácter integral para fines de manejo, es decir, propuestas relacionadas al manejo y conservación para esta especie, forzosamente deben contemplar las actividades que se realizan en la parte continental, sobre todo en las regiones hidrológicas que drenen al océano.

De acuerdo a CONABIO (2008) una regionalización ecológica radica en la división de una zona en unidades con base en la afinidad de características bióticas y abióticas, y que en conjunto incluyan la heterogeneidad del sistema. La importancia de regionalizar un espacio geográfico radica en conocer los recursos

del ecosistema y su conexión, para un adecuado manejo y protección de hábitats con funciones ecológicas vitales para la biodiversidad.

Dada la descripción integral que posee el área de estudio y lo que implica regionalizar, se propone contemplar a la zona costera norte de Veracruz como un área de regionalización ecológica para la conservación y manejo de los recursos naturales que la zona proporciona, desde la parte alta de las cuencas hidrográficas de la región hidrológica RH27 Tuxpan-Nautla, hasta el comienzo del talud continental de la zona costera marina, utilizando al delfín nariz de botella del ecotipo costero como herramienta de conservación.

Debido a la valiosa utilidad de los mamíferos marinos como indicadores de las perturbaciones e impactos ocasionados por la humanidad en los ecosistemas marinos y costeros (Wells *et al.*, 2004; Rossman *et al.*, 2013) se recomienda utilizar registros de distribución, densidad poblacional, actividades, sitios núcleo y enfermedades de estos grupos para conocer de manera indirecta el estado de salud de la región, los cuales nos podrían dar algunos escenarios como los siguientes:

- La baja densidad poblacional en la zona puede ser un efecto del declive en diversidad de especies presa o degradación del hábitat (Bearzi *et al.*, 1997).
- Cambios espacio-temporales de sitios núcleo pueden estar ligados a alteraciones bruscas como ejecución de obras de infraestructura,

eutrofización o altos valores de toxicidad por algas tóxicas, que pueden modificar la dinámica local y en consecuencia los movimientos de las especies presa, lo que puede causar un impacto no deseado en la actividad pesquera (Craig *et al.*, 2001; Counsell, 2013). Según Orduña Medrano (2012) los registros de diversidad en algas tóxicas no son alarmantes, pero se sugiere un manejo adecuado para que estos valores no alcancen los niveles permisibles para el ecosistema y la humanidad.

- El declive en la práctica de actividades como el descanso puede resultar de la alteración espacial por el aumento no regulado de tráfico de embarcaciones (Retureta Delgado, 2012).
- Registrar anomalías de salud en los grupos del delfín nariz de botella puede ser causa de la entrada de patógenos o contaminantes por medio de las descargas continentales (Wells *et al.*, 2004).

Por lo cual el enfoque de la regionalización ecológica que se propone es a escala de paisaje, mientras que las unidades que se plantean corresponderían a las divisiones originales de las cuencas hidrográficas en la parte continental y para la sección marina serían estimaciones en las amplitudes de la pluma correspondientes para cada descarga (Figura 17). Debido a que, aun cuando en el sistema costero la circulación tenga patrones similares, el ingreso de masas de agua continental varía dependiendo de la temporada y de la hidrología de cada cuenca.

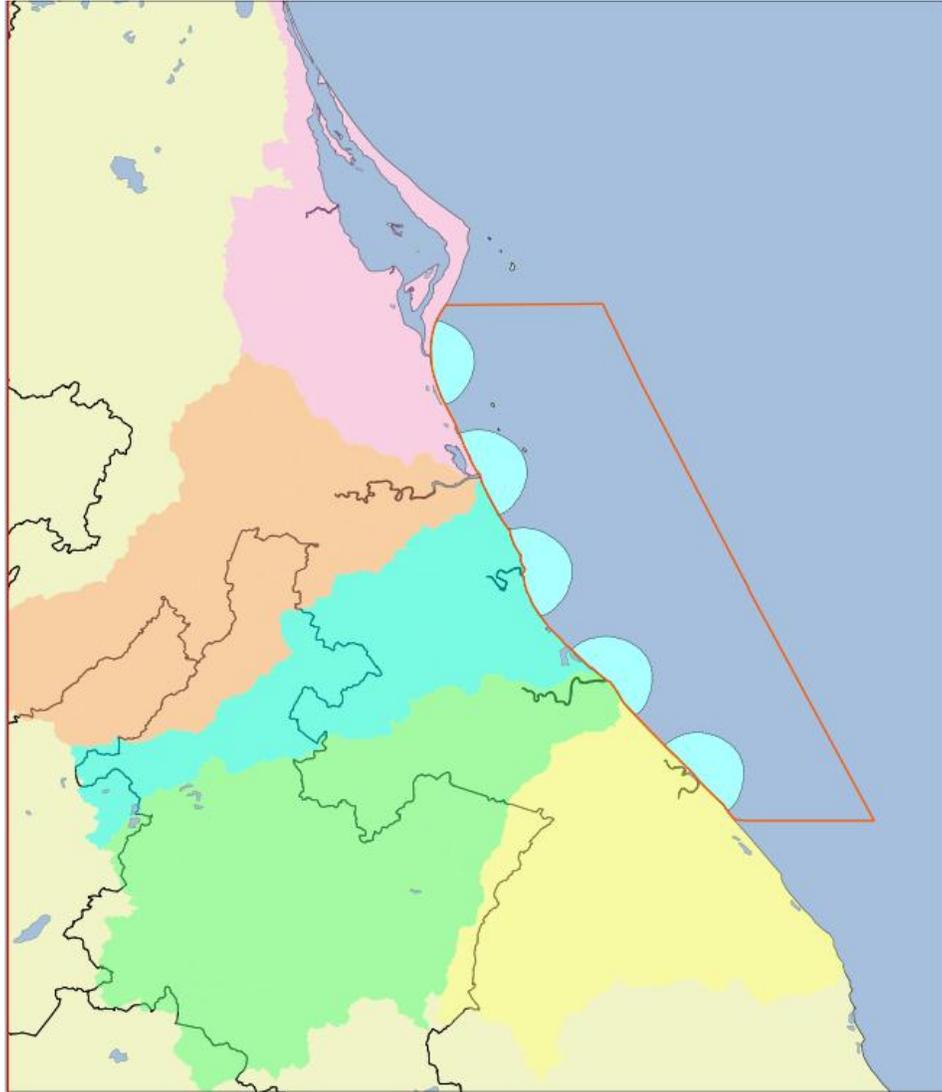


Figura 17. Croquis de Regionalización Ecológica de la zona costera norte de Veracruz (rectángulo rojo). Cada sección sombreada (rosa, naranja, azul, verde y amarillo) corresponde al área de cada cuenca hidrográfica y las circunferencias azules son la amplitud aproximada de las plumas con base en la distribución de los tursiones.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, M. C., Read, A. J., Gaudet, J. y Sayigh, L. S. 2001. Fine-scale habitat selection of foraging bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* near Clearwater, Florida. Marine Ecology Progress Series. 222: 253-264.
- Arguelles, J. J. 2008. Variación espacial de las asociaciones de peces del arrecife Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan. México.
- Aurioles-Gamboa, D. y Zavala-González, A. 1994. Algunos factores ecológicos que determinan la distribución y abundancia del lobo marino *Zalophus californianus*, en el Golfo de California. Ciencias Marinas. 20(4): 535-553.
- Azzellino, A., Gaspari, Airoldi, S. y Nani, B. 2008. Habitat use and preferences of cetaceans along the continental slope and the adjacent pelagic waters in the western Ligurian Sea. Deep-Sea Research I. 55: 296-323.
- Baird, R. W. y Whitehead, H. 2000. Social organization of mammal-eating killer whales: group stability and dispersal patterns. Canadian Journal of Zoology. 78:2096-2105.
- Baumgartner, M. F., Mullin, K. D., May, L. N. y Leming, T. D. 2001. Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. Fishery Bulletin. 99 (2): 219-239.

- Bearzi, G., Azzellino, A., Politi, E., Costa, M. y Bastianini, M. 2008. Influence of seasonal forcing on habitat use by bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in the norther Adriatic sea. *Ocean Science Journal*. 43(4): 175-182 pp.
- Bearzi, G., Notarbartolo-Di-Sciara, G. y Politi, E. 1997. Social ecology of bottlenose dolphins in the Kvarneric (northern Adriatic sea). *Marine Mammal Science*. 13(4): 650-668.
- Beer¹, T. 1996. Coastal Oceanography. Environmental oceanography. Ed CRC Press. 2 ed. 1-28.
- Beer², T. 1996. Water composition. Environmental oceanography. Ed CRC Press. 2 ed. 117-142.
- Berens McCabe, E. J., Gannon, D. P., Barros, N. B. y Wells, R. S. 2010. Prey selection by resident common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Sarasota Bay, Florida. *Mar Biol*. 157: 931-942.
- Bowen, W. D. y Siniff, D. B. 1999. Distribution, population biology and feeding ecology of marine mammals. Pp 423-484. En: Reynolds, J. E. y Rommel, S. A. (eds) *Biology of marine mammals*. Ed. Smithsonian Institution Press. Washington DC.
- Bowen, W. D., Read, A. J. y Estes, J. A. 2002. Feeding ecology. En: Hoelzel, A. R. (ed). *Marine mammal biology an evolutionary approach*. Ed Oxford: Blackwell Science. 217-246.

Casco Montoya, R. 2004. La zona costera de México: Definición. En: Rivera Arriaga, E., G. J. Villalobos Zapata, I. Azuz Adeath y F. Rosado May. (eds). El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. 1-4 p.

Caso M., Pisanty, I. y Ezcurra, E. 2005. Características físicas y químicas del Golfo de México. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. INE-SEMARNAT. México, D.F.

CONABIO. 2008. Regionalización.
<http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/regionalizacion.html>

Connor, R. C. 2002. Ecology of group living and social behavior. En: Hoelzel, A. R. (ed). Marine mammal biology an evolutionary approach. Ed Oxford: Blackwell Science. 353-370.

Contreras Espinosa, F. 2001. Caracterización de lagunas costeras mexicanas a través de variables ecológicas seleccionadas. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México. 95 p.

Cotler Ávalos H. 2010. Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización. Primera edición. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 232 pp.

- Counsell, C. W. W. 2013. Effects of hipoxia on the spatial distribution of marine megafauna in the northwestern Gulf of Mexico. Electronic Theses, Treatises and Dissertations. The Florida State University. 88 pp.
- Cox, C. B. y Moore, P. D. 2005. Patterns of distribution. Pp 73-117. En: Biogeography, an ecological and evolutionary approach. Ed. Blackwell Publishing. 7th ed.
- Craig, J. K., Crowder, L. B., Gray, C. D., McDaniel, C. J. Henwood, T. A. y Hanifen, J. G. 2001. Ecological effects of hypoxia on fish, sea turtles and marine mammals in the northwestern Gulf of Mexico. Coastal and Estuarine Studies. 269-292.
- Cubero-Pardo, P. 2007. Distribución y condiciones ambientales asociadas al comportamiento del delfín bufeo (*Tursiops truncatus*) y el delfín manchado (*Stenella attenuata*) (Cetacea: Delphinidae) en el Golfo Dulce, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 55(2): 549-557.
- Cubero-Pardo, P. 2007. Environmental factor governing the distribution of the bottlenose (*Tursiops truncatus*) and the spotted dolphin (*Stenella attenuata*) in the Golfo Dulce, South Pacific, off Costa Rica. Investigaciones Marinas. 35(2):15-23.

- Dahlheim, M. E. and White, P. A. 2010. Ecological aspects of transient killer whales *Orcinus orca* as predator in southeastern Alaska. *Wildlife Biology*. 16:308-322.
- Daniel, W. W. 2002. Regresión y correlación lineal simple. *Bioestadística bases para el análisis de las ciencias de la salud*. Ed. Limusa Wiley. 4 ed. 400-473.
- Danlheim, M. E. Ellifrit, D. K. and Swenson, J. D. 1997. Killer whales of southeast Alaska: A catalogue of photo-identified individuals. Day Moon Press. Seattle, Washington. USA. 79 pp.
- Davies, N. B., Krebs, J. R. y West, S. A. 2012. *An Introduction to Behavioural Ecology*. Ed. Wiley-Blackwell. Cuarta edición. 520 pp.
- Davis, R.W. Fargon, G.S. May, N. Leming, T.D., Baumgartner, M. Evans, W.E. Hansen, L.J. y Mullin, K. 1998. Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north-central and western Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*. 14(3): 490-507.
- Davis, R.W. Ortega-Ortiz, J.G., Ribic, C.A., Evans, W.E., Biggs, D.C., Ressler, P.H., Cady, R.B., Leben, R.R., Mullin, K.D. y Würsig, B. 2002. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research I*. 49: 121-142.

De la Lanza-Espino, G. y Gómez Rojas, J. C. 2004. Características físicas y químicas del Golfo de México. 105-134. En: Caso, M., Pisanty, I. y Escurra, E. (eds.) Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología. D.F. México. 226 pp.

Di Bitetti, M. S. 2008. Depredadores tope y cascadas tróficas en ambientes terrestres. Asociación civil. Centro de Investigaciones del Bosque Atlántico (CEIBA), CONICET. 18(108): 32-41 p.

Dubranna, J., Pérez-Brunius. P-. López, M. y Candela, J. 2011. Circulation over the continental shelf of the western and southwestern Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research. 116: 1-17.

Duffy, J. E. y Hay, M. E. 2001. The ecology and evolution of marine consumer-prey interactions. Pp 131-157. En: Bertness, M. D., Gaines, S. D. y Hay, M. E. Marine community ecology. Ed Sinauer Associates. Massachusetts, USA.

Eierman, L. E. y Connor, R. C. 2014. Foraging behavior, prey distribution, and microhabitat use by bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in a tropical atoll. Marine Ecology Progress Series. 503: 279-288.

Escobar, J. 2003. La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. United Nations Publications. Santiago de Chile. 63 pp.

Escofet, A. 2006. Escalas Jerárquicas anidadas. En: Córdova y Vásquez, A., F. Rosete Vergés, G. Enríquez Hernández y B. Hernández de la Torre.

Ordenamiento ecológico marino: visión temática de la regionalización. 87-101.

Escofet, A. 2009. Síntesis y proyecciones de la regionalización marino-costera. En: Córdova y Vásquez, A., F. Rosete Vergés, G. Enríquez Hernández y B. Hernández de la Torre. Ordenamiento ecológico marino: visión integrada de la regionalización. 73-85.

Espejel, I. y R. Bermúdez. 2009. Propuesta metodológica para la regionalización de los mares mexicanos. . En: Córdova y Vásquez, A., F. Rosete Vergés, G. Enríquez Hernández y B. Hernández de la Torre. Ordenamiento ecológico marino: visión integrada de la regionalización. 145-224.

Estes, J. A., Terborgh, J., Brashares, J. S., Power, M. E., Berger, J., Bond, W. J., Carpenter, S. R., Essington, T. E., Holt, R. D., Jackson, J. B. C., Marquis, R. J. Oksanen, L., Oksanen, T., Paine, R. T., Pickett, E. K., Ripple, W. J. Sandin, S. A., Scheffer, M., Schoener, T. W., Shurin, J. B., Sinclair, A. R. E., Soulé, M. E. Virtanen, R. y Wardle, D. A. 2011. Trophic downgrading of planet earth. Science. 333: 301-306.

Fazioli, K. L., Hotmann, S. y Wells, R. S. 2006. Use of Gulf of Mexico coastal waters by distinct assemblages of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*). Aquatic Mammals. 32 (2): 212-222.

- Folkens, P. A. 2002. Guide To Marine Mammals Of The World. National Audubon Society. New York. 527 pp.
- Gannon, D. P. y Waples, D. M. 2004. Diets of coastal bottlenose dolphins from the U.S. Mid-Atlantic coast differ by habitat. *Marine Mammal Science*. 20(3): 527-545.
- Garvine, R. W. 1986. The role of brackish plume in open shelf waters. 47-66. En: Skreslet, S. (ed) *The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems*. Springer-Verlag. Berlin, Germany. Vol 7.
- García Hernández, L. 2009. Sociabilidad de la Tonina (*Tursiops truncatus*) Montagu 1821 en la zona Norte de Veracruz. Tesis Licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, México.
- Glantz, S. A. 2006. ¿Qué muestran los datos en realidad? *Bioestadística*. Ed. McGraw-Hill/Interamericana. 6 ed. 444-465.
- González, J. E. 2009. La biota de los ríos: otros vertebrados. Pp 293-309. En: *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Elosegí y Sabater (eds.). Ed. Fundación BBVA. Bilbao, España.
- González-Máynez, V. E., Nevárez-Martínez, M. O., Gallegos-García, A., Márquez-García, E. y Rodríguez-Sobreyra, R. 2013. Abundancia del calamar gigante *Dosidiscus gigas* y su relación con factores ambientales en el Golfo de California, México. *Ciencia Pesquera*. 21(1):5-13 pp.

- Gras, J. A. 2001. Series bivariadas y alternativas al análisis de series temporales. Pp 129-172. En: Gras, J. A. (Ed). Diseños de series temporales: técnicas de análisis. Edicions de la Universitat de Barcelona. España.
- Guerrero Ruiz, M., Urgan Ramirez, J. y Rojas Bracho, L. 2006. *Las ballenas del Golfo de California*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. 524 pp.
- Gutiérrez Medieta, F. J., Varona-Cordero, F. y Contreras Espinosa, F. 2006. Caracterización estacional de las condiciones físico-químicas y de productividad primaria fitoplanctónica de dos lagunas costeras del estado de Chiapas, México. *Hidrobiológica*. 16 (2): 137-146.
- Heckel G. 1992. Fotoidentificación de tursiones *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) en la Boca de Corazones de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México (Cetacea: Delphinidae). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 164 pp.
- Ingram, S. N. y Rogan, E. 2002. Identifying critical areas and habitat preferences of bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Marine Ecology Progress Series*. 244: 247-255.
- Irvine, A.B., Scott, M.D., Wells, R.S. y Kaufmann J.H. 1981. Movements and Activities of the Atlantic Bottlenose Dolphin, *Tursiops truncatus*, near Sarasota, Florida. *Fishery Bulletin*. 79(4): 671-688.

Jefferson, T. A., Leatherwood, S. y Webber, M. A. 1993. *Marine Mammals Of The World. Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Viale delle Terme de Caracalla. Rome, Italy. 322 pp.

Kenney, R. D. y Winn, H. E. 1987. Cetacean biomass densities near submarine canyons compared to adjacent shelf/slope areas. *Continental Shelf Research*. 7(2): 107-114.

Koopmans, L. H. 1995. Preliminaries. 1-28. En: *The spectral analysis of time series*. Vol 22. Academic Press. California, USA.

Kruuk, H. 1972. *The spotted hyena: A study of predation and social behavior*. University of Chicago Press, Chicago. USA, 335 pp.

Lara-Lara, J. R., J. A. Arreola Lizárraga, L. E. Calderón Aguilera, V. F. Camacho Ibar, G. de la Lanza Espino, A. Escofet Giansone, M. I. Espejel Carbajal, M. Guzmán Arroyo, L. B. Ladah, M. López Hernández, E. A. Meling López, P. Moreno Casasola, H. Reyes Bonilla, E. Ríos Jara y J. A. Zertuche González. 2008. Los ecosistemas, insulares y epicontinentales. *Capital Natural de México*. Vol. I. Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México. 109-134.

Leatherwood, S. 1975. Some observations of feeding behavior of bottle-nosed dolphins (*Tursiops truncatus*) in the northern Gulf of Mexico and (*Tursiops* cf

- T. gilli*) off Southern California, Baja California and Nayarit, Mexico. Mar. Fish. Rev. 37(9): 10-16.
- Levinton, J. S. 2009. Economical and evolutionary principles of marine biology. . En: Marine biology, function, biodiversity and ecology. Ed. Oxford University Press. 3^{ra} ed.
- Lohrenz, S. E., Fahnenstiel, G. L., Scholfield, O. y Millie, D. F. 2008. Coastal sediment dynamics and river discharge as key factors influencing coastal ecosystem productivity in Southeastern Lake Michigan. Oceanography. 21(4):60-69.
- Maass, J. M. y Martínez-Yrizar, A. 1990. Los ecosistemas: definición, origen e importancia del concepto. Ciencias (Núm. Esp.) 4:10-20.
- Mann, K. H. y Lazier, J. R. N. 2006. Vertical structure in coastal waters: freshwater run-off and tidal mixing. Pp 118-161. En: Dynamics of marine ecosystems, biological-physical interactions in the oceans. Ed. Blackwell Publishing. 3^a ed.
- Martínez-Serrano, I., Serrano, A., Heckel G. y Schramm, Y. 2012. Distribution and Home Range of Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) off Veracruz, Mexico. Ciencias Marinas. 37(4A): 379-392.

- McHugh, K. A., Allen, J. B., Barleycorn, A. A. y Wells, R. S. 2011. Natal philopatry, ranging behavior and habitat selection of juvenile bottlenose dolphins in Sarasota Bay, Florida. *Journal of Mammalogy*. 92(6): 1298-1313.
- Morteo, E., Heckel, G., Defran, R. H. y Schramm, Y. 2004. Distribución, movimientos y tamaño de grupo del tursiÓN (*Tursiops truncatus*) al sur de Bahía San Quintín, Baja California, México. *Ciencias Marinas*. 30(1A):35-46.
- Müller-Karger, F. E. y Walsh, J. J. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface as determined by satellites. *Journal of Geophysical Research*. 96 (C7): 12,645-12,665.
- Neiff, J. J. 1999. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. UNESCO. 90-139.
- Orduña Medrano, R. E. 2012. Patrones de distribución y abundancia del fitoplancton nocivo en la zona costera de Tuxpan, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, México.
- Ortega-Argueta, A., Pérez-Sánchez, C., Gordillo-Morales, G., Gordillo, O. G., Pérez, D. G. y Alafita H. 2005. Cetecean strandings on the southwestern coast of the Gulf of Mexico. *Gulf of Mexico Science*. (2): 179-185.
- Ortega-Ortiz, J. G., Delgado-Estrella, A. y Ortega-Argueta, A. 2004. Mamíferos marinos del Golfo de México: Estado actual del conocimiento y recomendaciones para su conservación. 135-160.

Ortiz-Lozano, L. D., P. Arceo-Briseño, A. Granados Barba, D. Salas-Monreal, y L. Jiménez-Badillo. 2010. Zona Costera. Pp 123-146. En: Florescano, E. y J. Ortiz-Escamilla (Coords). Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz, Tomo I Patrimonio Natural. Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana.

Pate, S. M. and McFee, W. E. 2012. Prey species of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) from South Carolina Waters. *Southeastern naturalist*. 11(1):1-22.

Platell, M. E. y Potter, I. C. 1999. Partitioning of habitat and prey by abundant and similar-sized species of the Triglidae and Pempherididae (Teleostei) in coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 48: 235-252.

Platell, M. E., Potter, I. C. y Clarke, K. R. 1998. Resource partitioning by four species of elasmobranchs (Batoidea: Urolophidae) in coastal waters of temperate Australia. *Marine Biology*. 131: 719-734.

R Development Core Team. 2009. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Recks, M. A. 2004. An investigation into the use of blubber fatty acid profiles as a means to determine dietary history of Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in estuarine and nearshore coastal waters around Charleston,

South Carolina. M. Sc. Thesis. The Graduate School of the College of Charleston, Charleston, SC. 141 pp.

Retureta Delgado, I. 2012. Patrones de comportamiento del delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) en dos zonas del litoral Norte del Estado de Veracruz. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, México.

Rossman, S., Barros, N. B., Ostrom, P. H., Stricker, A., Hohn, A. A., Gandhi, H. y Wells, R. S. 2013. Restrospective analysis of bottlenose dolphin foraging: A legacy of anthropogenic ecosystem disturbance. *Marine Mammal Science*. 29(4): 705-718.

Sabater, S., Donato, J. C., Giorgi, A. y Elozegi, A. 2009. El río como ecosistema. Pp 23-37. En: *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Elozegi y Sabater (eds.). Ed. Fundación BBVA. Bilbao, España.

Sánchez Díaz, D. 2012. Circulación marina superficial estacional (2008-2011) en la plataforma continental del norte del estado de Veracruz (Golfo de México Occidental). Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, México.

Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R. y Zambrano, L. 2007. *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología. Ed Progreso. D.F. México. 293 pp.

Santamaría-del Ángel, E., Millán-Núñez, R. y De la Peña-Nettel, G. 1996. Efecto de la turbidez en la productividad primaria en dos estaciones en el delta del río Colorado. *Ciencias Marinas*. 22(4): 483-493.

Schramm Y. 1993. Distribución, movimientos, abundancia e identificación del delfín *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), en el sur de la Laguna de Tamiahua, Ver. y aguas adyacentes (Cetacea: Delphinidae). Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. Universidad Autónoma de Guadalajara. Guadalajara, México. 174 pp.

SEMARNAT. 2006. Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas: Estrategias para su Conservación y Uso Sustentable. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental. Dirección General de Política Ambiental Integración Regional y Sectorial. Dirección de Integración Regional. D.F. México. 90 pp.

Shane, S. H. 1990. Comparison of bottlenose dolphin behavior in Texas and Florida, with a critique of methods for studying dolphin's behavior. En: Leatherwood, S. y Reeves, R. R. (eds). *The bottlenose dolphin*. Academic Press, San Diego, C. A. 541-558.

Sheng, T. C. 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas, Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Guía FAO Conservación. Italia. Roma. 185 pp.

- Sinclair, M., Bugden, G. L., Tang, C. L., Therriault, J.C. y Yeats, P.A. 1986. Assessment of effects of freshwater runoff variability on fisheries production in coastal waters. 139-160. En: Skreslet, S. (ed) The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems. Springer-Verlag. Berlin, Germany. Vol 7.
- Skreslet, S. 1986. Freshwater outflow in relation to space and time dimensions of complex ecological interactions in coastal water. 3-12. En: Skreslet, S. (ed) The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems. Springer-Verlag. Berlin, Germany. Vol 7.
- Smetacek, V. S. 1986. Impact of freshwater discharge on production and transfer of materials in th marine environment. 85-106. En: Skreslet, S. (ed) The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems. Springer-Verlag. Berlin, Germany. Vol 7.
- Spitz, J., Mourocq, E., Leauté, J-P., Quéro, J-C. y Ridoux, V. 2010. Prey selection by the common dolphin: Fulfilling high energy requirements with high quality food. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 390: 73-77.
- Suárez, M. L. 1986. Estructura y dinámica de la composición físico-química de las aguas superficiales de una cuenca de características semiáridas del sureste español (Río Mula: Cuenca del Segura). Tesis Doctoral. Univ. Murcia. Murcia.

- Svendsen, H. 1986. Mixing and exchange processes in estuaries, fjords and shelf waters. 13-46. En: Skreslet, S. (ed) The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems. Springer-Verlag. Berlin, Germany. Vol 7.
- Szteren, D. y Aurióles-Gamboa, D. 2011. Ecological regionalization of *Zalophus californianus* rookeries, as a tool for conservation in the Gulf of California. Ciencias Marinas. 37(3): 349-368.
- Therriault, J. C. y Levasseur, M. 1986. Freshwater runoff control of the spatio-temporal distribution of phytoplankton in the lower St. Lawrence Estuary (Canada). 251-260. En: Skreslet, S. (ed) The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems. Springer-Verlag. Berlin, Germany. Vol 7.
- Toledo, A. 2003. Rios, costas, mares, Hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México. INE-Semarnat. 116 pp.
- Torres, L. G. y Read, A. J. 2009. Where to catch a fish? The influence of foraging tactics on the ecology of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Florida Bay, Florida. Marine Mammal Science. 25(4): 797-815.
- Torres, L. G., Read, A. J. y Halpin, P. 2008. Fine-scale habitat modeling of a top marine predator: Do prey data improve predictive capacity? Ecological Applications. 18 (7): 1702-1717.

- Torres, L. G., Rosel, P. E., D'Agrosa, C. y Read, A. J. 2003. Improving management of overlapping bottlenose dolphin ecotypes through spatial analysis and genetics. *Marine Mammal Science*. 19(3): 502-514.
- Valdés, C. y Herrmann, H. 2004. Cooperación internacional en el manejo integrado de la zona costera en México. Pp 151-162. En: Rivera Arriaga, E., Villalobos Zapata, G. J., Azuz Adeath, I. y Rosado May, F (eds). *El Manejo Costero en México*. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo.
- Valdes-Arellanes, M. P., Serrano, A., Heckel, G., Schramm, Y. y Serrano-Martínez, I. 2011. Abundancia de dos poblaciones de toninas (*Tursiops truncatus*) en el norte de Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82(1). 227-235.
- Vázquez-Castán, L. 2007. Características del hábitat de tres poblaciones de toninas (*Tursiops truncatus*, Montagu, 1821) en la zona costera del norte de Veracruz, México. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana, Tuxpan, México.
- Vázquez-Castán, L. 2010. Distribución espacial y temporal de toninas (*Tursiops truncatus*) y su abundancia en el Sistema Arrecifal Norveracruzano (SANV). Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan. México.

- Vázquez-Castán, L., Serrano, A. y Galindo, J. A. 2009. Estudio preliminar sobre la diversidad, distribución y abundancia de cetáceos en aguas profundas del Golfo de México. *Revista UDO Agrícola*. 9(4): 992-997.
- Vidal Hernández, L. E. 2005. Sustentabilidad de los ecosistemas costeros mexicanos. *Avance y Perspectiva*. 3(24):59-68.
- Vidal, V. M. V., Vidal, F. V., Hernández, A. F., Meza, E. y Zambrano, L. 1994. Winter water mass distribution in the western Gulf of Mexico affected by a colliding Anticyclonic ring. *Journal of Oceanography*. Vol 50: 559-588.
- Walker, D. 2005. Using oceanographic features to predict areas of high cetacean diversity. Tesis de Maestría. University of Wales, Bangor, U.K.
- Wells, R. S. 1991. Bringing up baby. *Natural History*. 8: 56-62.
- Wells, R. S. 2003. Dolphin social complexity: Lessons from long-term study and life history. 32-56 En: De Waal, F. B. M. y Tyack, P. L. (eds) *Animal Social Complexity: Intelligence, culture and individualized societies*. Harvard College.
- Wells, R. S. 2012. Individual dolphins as tools for conservation. *Animal Conservation*. 15: 436-437.

- Wells, R. S., Boness, D. S. and Rathbun. 1999. Behavior. Pp 324-422 En: Reynolds, J. E. y Rommel, S. A. (eds) Biology of marine mammals. Ed. Smithsonian Institution Press. Washington DC.
- Wells, R. S., Irvine, A. B. y Scott, M. D. 1980. The social ecology of inshore odontocetes. En: Herman, L. M. (ed), Cetaceans Behavior. Wiley-Intersci. N. Y. Pp 263-317.
- Wells, R. S., Rhinehart, H. I., Hansen, L. J., Sweeney, J. C. Townsend, F. I. Stone, R., Casper, D. R., Scott, M. D., Hohn, A. A. y Rowles, T. K. 2004. Bottlenose dolphins as marine ecosystem sentinels: Developing a health monitoring system. EcoHealth. 1: 246-254.
- Würsig, B. 1979. Dolphins. Scientific American. 240(3): 136-48.
- Wynne. K. y Schwartz, M. 1999. Marine Mammals and Turtles of the U.S. Atlantic and Gulf of Mexico. Rhode Island Sea Grant. 114 pp.
- Yanagi, T. 1999. Introduction. Coastal Oceanography. Ed. Terra Scientific Publishing Company/Kluwer Academic Publishers. 1-3.
- Yáñez-Arancibia, A. 1986. Ecología de la zona costera. En: Santamaría-del Ángel, E., Millán-Núñez, R., De la Peña-Nettel, G. 1996. Efecto de la turbidez en la productividad primaria en dos estaciones en el área del delta del río Colorado. Ciencias Marinas, 22(4): 483-493.

Zavala-Hidalgo, J., Gallegos-García, A., Martínez-López, B., Morey, S. L. y O'Brien, J. J. 2006. Seasonal upwelling on the western and southern shelves of the Gulf of Mexico. *Ocean Dynamics*. 56: 333-338.

Zavala-Hidalgo, J., Morey, S. L. y O'Brien, J. J. 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research*. 108 (C12): 1-19.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Registro total de grupos, individuos y tamaño de grupo del delfín nariz de botella por intervalos de distancia de un kilómetro a escala de paisaje.

| Distancia (km) | Distancia a desembocadura | | | Distancia a Costa | | |
|----------------|---------------------------|------------|-----------------|-------------------|------------|-----------------|
| | Grupos | Individuos | Tamaño de grupo | Grupos | Individuos | Tamaño de grupo |
| 1 | 19 | 93 | 5.17 | 40 | 299 | 7.67 |
| 2 | 22 | 137 | 6.23 | 81 | 767 | 9.47 |
| 3 | 18 | 192 | 12 | 34 | 324 | 10.13 |
| 4 | 7 | 88 | 12.57 | 10 | 73 | 7.30 |
| 5 | 9 | 76 | 9.50 | 8 | 72 | 10.29 |
| 6 | 10 | 60 | 6.22 | 3 | 17 | 5.67 |
| 7 | 14 | 135 | 9.64 | 1 | 28 | 28 |
| 8 | 19 | 273 | 14.37 | 3 | 38 | 12.67 |
| 9 | 7 | 74 | 10.57 | 2 | 30 | 15 |
| 10 | 12 | 114 | 9.50 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 8 | 82 | 10.25 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 8 | 73 | 9.13 | 1 | 15 | 15 |
| 13 | 9 | 62 | 6.89 | 1 | 4 | 4 |
| 14 | 5 | 36 | 7.20 | 2 | 9 | 4.50 |
| 15 | 4 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 8 | 93 | 11.63 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 3 | 32 | 10.67 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 3 | 33 | 11 | 1 | 7 | 7 |
| 19 | 1 | 7 | 7 | | | |
| 20 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 21 | 0 | 0 | 0 | | | |
| 22 | 1 | 15 | 15 | | | |

Anexo 2. Movimiento temporal de los grupos e individuos del delfín nariz de botella, por intervalos de distancia de un kilómetro de la costa y de la desembocadura de las descargas continentales a escala de paisaje.

| Distancia (km) | Desembocadura de estuario | | | | Costa | | | |
|----------------|---------------------------|----|------|----|-------|----|------|----|
| | Ma D | | Me D | | Ma D | | Me D | |
| | Ind | Gr | Ind | Gr | Ind | Gr | Ind | Gr |
| 1 | 52 | 11 | 40 | 7 | 116 | 21 | 183 | 19 |
| 2 | 50 | 11 | 88 | 12 | 137 | 24 | 630 | 57 |
| 3 | 66 | 7 | 126 | 11 | 112 | 13 | 212 | 21 |
| 4 | 19 | 3 | 69 | 4 | 15 | 4 | 58 | 6 |
| 5 | 37 | 4 | 39 | 5 | 61 | 5 | 11 | 3 |
| 6 | 20 | 4 | 40 | 6 | 14 | 2 | 3 | 1 |
| 7 | 44 | 4 | 91 | 10 | 28 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | 84 | 7 | 189 | 12 | 7 | 1 | 31 | 2 |
| 9 | 38 | 3 | 36 | 4 | 30 | 2 | 0 | 0 |
| 10 | 32 | 4 | 82 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 82 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 14 | 3 | 59 | 5 | 0 | 0 | 15 | 1 |
| 13 | 7 | 3 | 55 | 6 | 4 | 1 | | |
| 14 | 10 | 2 | 26 | 3 | 9 | 2 | | |
| 15 | 6 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 | | |
| 16 | 34 | 3 | 59 | 5 | 0 | 0 | | |
| 17 | 12 | 2 | 20 | 1 | 0 | 0 | | |
| 18 | 8 | 2 | 25 | 1 | 7 | 1 | | |
| 19 | 7 | 1 | 0 | 0 | | | | |
| 20 | | | 0 | 0 | | | | |
| 21 | | | 0 | 0 | | | | |
| 22 | | | 15 | 1 | | | | |

Ma D= Mayor descarga; Me D= Menor descarga; Ind= individuos; Gr= grupos.

Anexo 3. Frecuencias de ocurrencia (FO) y frecuencia acumulativa (FA) de la abundancia de grupos e individuos del delfín nariz de botella con respecto a la distancia a la costa y a la desembocadura de descargas continentales en la región.

| Intervalo (km) | Distancia a Costa | | | | Distancia a desembocadura | | | |
|----------------|-------------------|--------|------------|--------|---------------------------|--------|------------|--------|
| | Grupos | | Individuos | | Grupos | | Individuos | |
| | FO (%) | FA (%) | FO (%) | FA (%) | FO (%) | FA (%) | FO (%) | FA (%) |
| 1 | 21.39 | 21.39 | 17.77 | 17.77 | 5.5 | 9.63 | 9.6 | 5.47 |
| 2 | 43.32 | 64.71 | 45.57 | 63.34 | 8.2 | 21.93 | 12.3 | 13.67 |
| 3 | 18.18 | 82.89 | 19.25 | 82.59 | 11.4 | 31.55 | 9.6 | 25.07 |
| 4 | 5.35 | 88.24 | 4.34 | 86.93 | 5.2 | 35.29 | 3.7 | 30.30 |
| 5 | 4.28 | 92.51 | 4.28 | 91.21 | 4.5 | 40.11 | 4.8 | 34.82 |
| 6 | 1.60 | 94.12 | 1.01 | 92.22 | 3.6 | 45.45 | 5.3 | 38.38 |
| 7 | 0.53 | 94.65 | 1.66 | 93.88 | 8.0 | 52.94 | 7.5 | 46.41 |
| 8 | 1.60 | 96.26 | 2.26 | 96.14 | 16.2 | 63.10 | 10.2 | 62.63 |
| 9 | 1.07 | 97.33 | 1.78 | 97.92 | 4.4 | 66.84 | 3.7 | 67.02 |
| 10 | 0.00 | 97.33 | 0.00 | 97.92 | 6.8 | 73.26 | 6.4 | 73.80 |
| 11 | 0.00 | 97.33 | 0.00 | 97.92 | 4.9 | 77.54 | 4.3 | 78.67 |
| 12 | 0.53 | 97.86 | 0.89 | 98.81 | 4.3 | 81.82 | 4.3 | 83.01 |
| 13 | 0.53 | 98.40 | 0.24 | 99.05 | 3.7 | 86.63 | 4.8 | 86.69 |
| 14 | 1.07 | 99.47 | 0.53 | 99.58 | 2.1 | 89.30 | 2.7 | 88.83 |
| 15 | 0.00 | 99.47 | 0.00 | 99.58 | 0.5 | 91.44 | 2.1 | 89.30 |
| 16 | 0.00 | 99.47 | 0.00 | 99.58 | 5.5 | 95.72 | 4.3 | 94.83 |
| 17 | 0.00 | 99.47 | 0.00 | 99.58 | 1.9 | 97.33 | 1.6 | 96.73 |
| 18 | 0.53 | 100.00 | 0.42 | 100.00 | 2.0 | 98.93 | 1.6 | 98.69 |
| 19 | | | | | 0.4 | 99.47 | 0.5 | 99.11 |
| 20 | | | | | 0.0 | 99.47 | 0.0 | 99.11 |
| 21 | | | | | 0.0 | 99.47 | 0.0 | 99.11 |
| 22 | | | | | 0.9 | 100.00 | 0.5 | 100.00 |

Anexo 4. Registro de grupos, individuos y tamaño de grupo del delfín nariz de botella por intervalos de distancia de un kilómetro a la desembocadura de las descargas continentales (DD) a escala local.

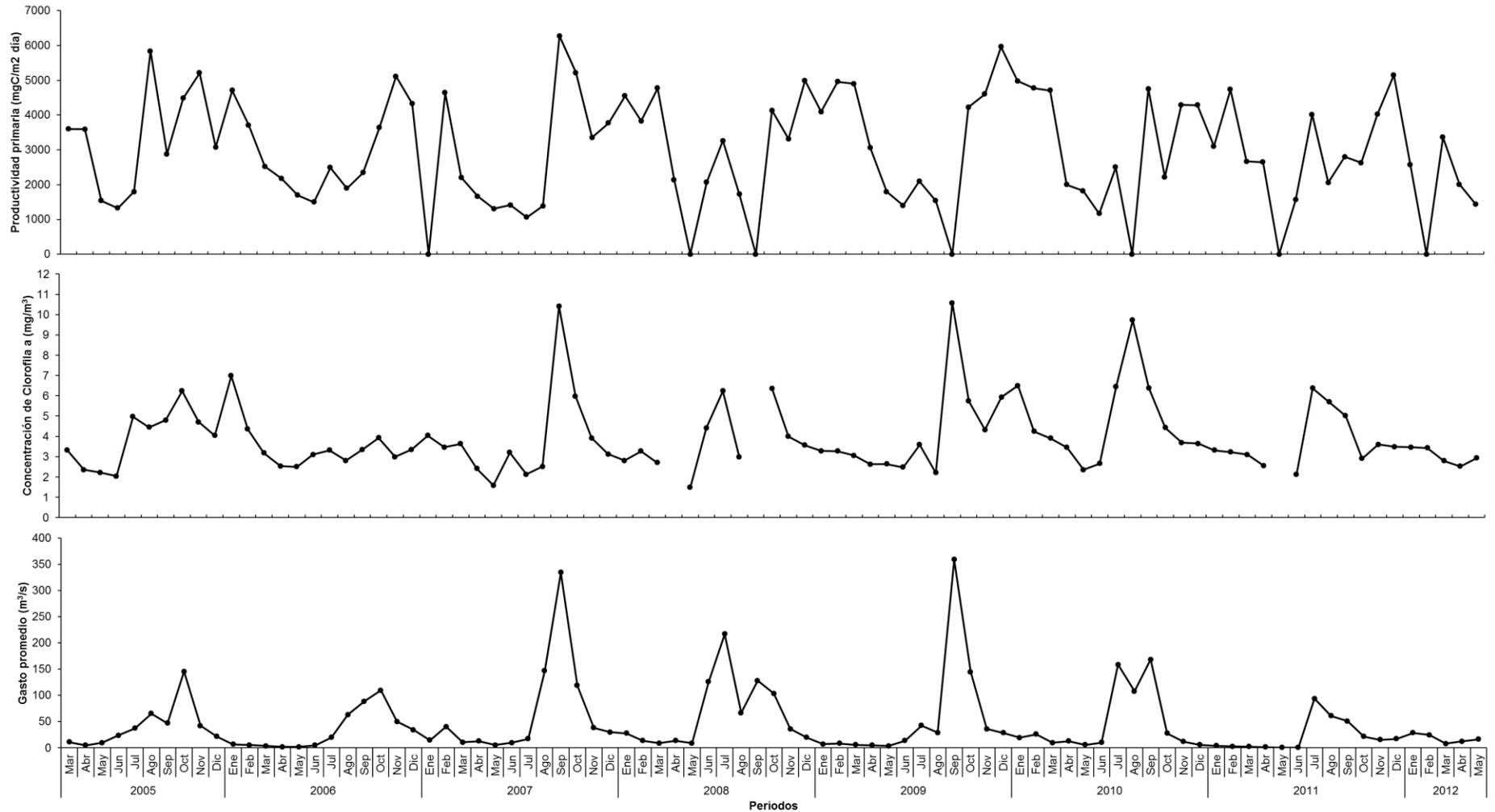
| DD (km) | Total de Grupos | | | | | Abundancia de Individuos | | | | | Tamaño de grupo | | | | |
|------------|-----------------|----|----|----|----|--------------------------|----|-----|----|----|-----------------|-------|-------|------|----|
| | Ta | Tu | Ca | Te | Na | Ta | Tu | Ca | Te | Na | Ta | Tu | Ca | Te | Na |
| 1 | 2 | 14 | 0 | 3 | 0 | 4 | 69 | 0 | 20 | 0 | 2 | 4.93 | 0 | 6.67 | 0 |
| 2 | 2 | 11 | 3 | 5 | 1 | 14 | 49 | 30 | 24 | 20 | 7 | 4.45 | 10 | 4.8 | 20 |
| 3 | 1 | 6 | 8 | 3 | 0 | 14 | 39 | 110 | 29 | 0 | 14 | 6.5 | 13.75 | 9.67 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 6 | 1 | 0 | 0 | 0 | 68 | 20 | 0 | 0 | 0 | 11.33 | 20 | 0 |
| 5 | 3 | 0 | 5 | 0 | 1 | 9 | 0 | 57 | 0 | 10 | 3 | 0 | 11.4 | 0 | 10 |
| 6 | 0 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 21 | 39 | 0 | 0 | 0 | 3.5 | 9.75 | 0 | 0 |
| 7 | 2 | 5 | 4 | 2 | 1 | 6 | 22 | 70 | 32 | 5 | 3 | 4.4 | 17.5 | 16 | 5 |
| 8 | 3 | 9 | 5 | 1 | 1 | 40 | 63 | 145 | 5 | 20 | 13.33 | 7 | 29 | 5 | 20 |
| 9 | 0 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 33 | 5 | 20 | 16 | 0 | 11 | 2.5 | 20 | 16 |
| 10 | 0 | 4 | 7 | 1 | 0 | 0 | 27 | 86 | 1 | 0 | 0 | 6.75 | 12.29 | 1 | 0 |
| 11 | 1 | 3 | 3 | 1 | 0 | 3 | 40 | 19 | 20 | 0 | 3 | 13.33 | 6.33 | 20 | 0 |
| 12 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 27 | 46 | 0 | 0 | 0 | 6.75 | 11.5 | 0 | 0 |
| 13 | 1 | 4 | 2 | 1 | 1 | 5 | 20 | 33 | 1 | 3 | 5 | 5 | 16.5 | 1 | 3 |
| 14 | 1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 3 | 31 | 0 | 0 | 2 | 3 | 10.33 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 16 | 3 | 5 | | 0 | 0 | 41 | 52 | | 0 | 0 | 13.67 | 10.4 | | 0 | 0 |
| 17 | 0 | 2 | | 0 | 1 | 0 | 25 | | 0 | 7 | 0 | 12.5 | | 0 | 7 |
| 18 | 0 | 2 | | 1 | | 0 | 8 | | 25 | | 0 | 4 | | 25 | |
| 19 | 0 | 1 | | | | 0 | 7 | | | | 0 | 7 | | | |
| 20 | 0 | | | | | 0 | | | | | 0 | | | | |
| 21 | 0 | | | | | 0 | | | | | 0 | | | | |
| 22 | 1 | | | | | 15 | | | | | 15 | | | | |

Ta= Laguna de Tamiahua; Tu= Río Tuxpan; Ca= Río Cazones; Te= Río Tecolutla; Na= Río Nautla.

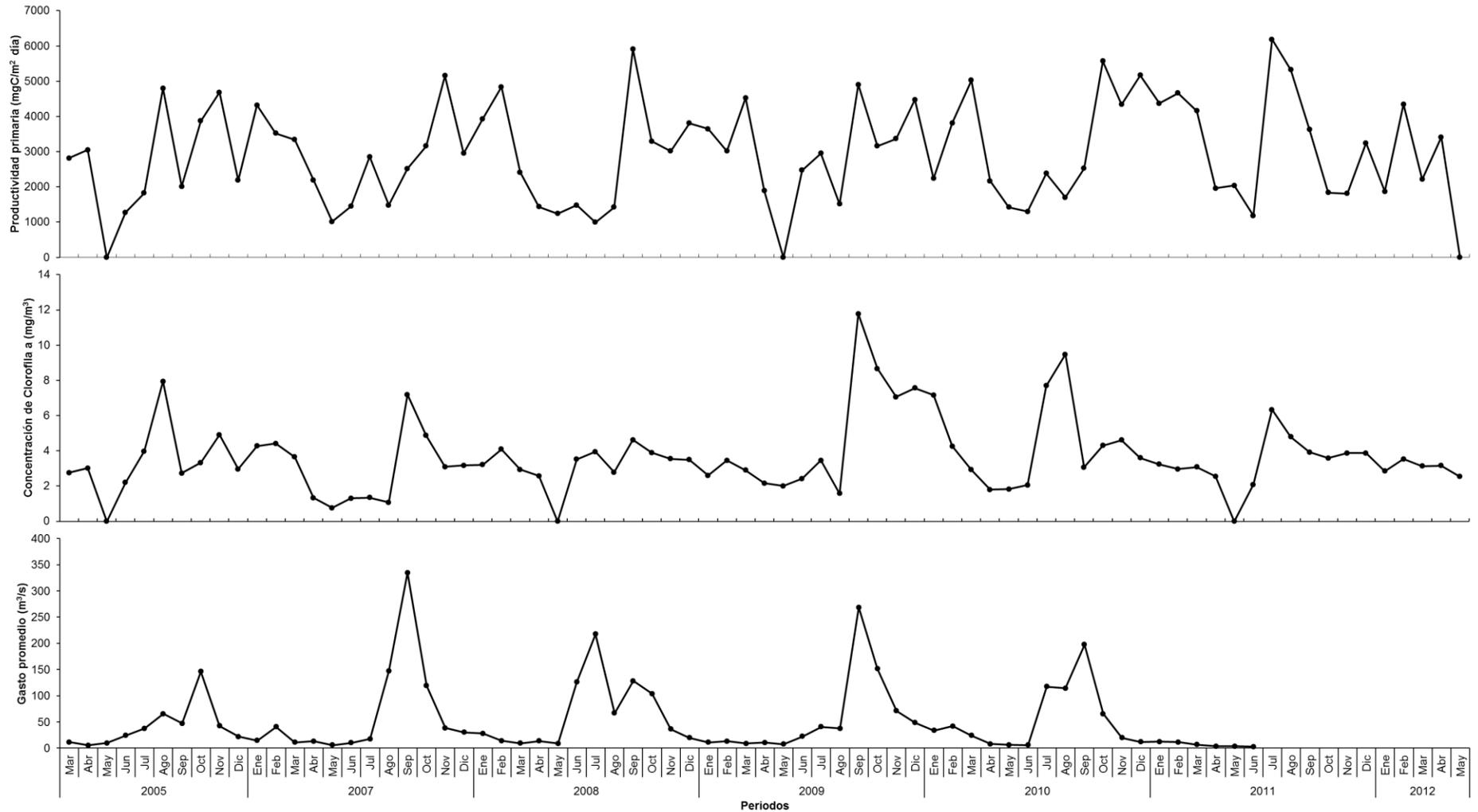
Anexo 5. Registro de crías y eventos alimenticios del delfín nariz de botella por intervalos de distancia de un kilómetro a partir de la desembocadura de descargas continentales (DD) en el sistema.

| DD (km) | Crías | Frecuencia de crías (%) | Eventos alimenticios | Frecuencia alimenticia (%) |
|---------|-------|-------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 8 | 11.27 | 4 | 12.50 |
| 2 | 6 | 8.45 | 0 | 0.00 |
| 3 | 8 | 11.27 | 4 | 12.50 |
| 4 | 2 | 2.82 | 1 | 3.13 |
| 5 | 3 | 4.23 | 2 | 6.25 |
| 6 | 5 | 7.04 | 2 | 6.25 |
| 7 | 4 | 5.63 | 1 | 3.13 |
| 8 | 5 | 7.04 | 2 | 6.25 |
| 9 | 4 | 5.63 | 2 | 6.25 |
| 10 | 3 | 4.23 | 1 | 3.13 |
| 11 | 2 | 2.82 | 3 | 9.38 |
| 12 | 3 | 4.23 | 2 | 6.25 |
| 13 | 3 | 4.23 | 4 | 12.50 |
| 14 | 3 | 4.23 | 1 | 3.13 |
| 15 | 1 | 1.41 | 0 | 0.00 |
| 16 | 6 | 8.45 | 1 | 3.13 |
| 17 | 2 | 2.82 | 0 | 0.00 |
| 18 | 1 | 1.41 | 1 | 3.13 |
| 19 | 1 | 1.41 | 0 | 0.00 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 22 | 1 | 1.41 | 1 | 3.13 |

Anexo 6. Serie de tiempo de promedios mensuales del gasto de la cuenca hidrográfica del río Tuxpan, y de las concentraciones de clorofila “a” y productividad primaria del estuario del río Tuxpan.



Anexo 7. Serie de tiempo de promedios mensuales del gasto de la cuenca hidrográfica del río Cazones, y de las concentraciones de clorofila “a” y productividad primaria del estuario del río Cazones.



Anexo 8. Serie de tiempo de promedios mensuales del gasto de la cuenca hidrográfica del río Nautla, y de las concentraciones de clorofila “a” y productividad primaria del estuario del río Nautla.

