



Universidad Veracruzana

Facultad de Ciencias Biológicas y agropecuarias

Región Poza Rica-Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Estimación de la abundancia poblacional de la tonina
(*Tursiops truncatus*) y propuesta de área prioritaria en el
norte de Veracruz

Tesis para obtener el grado de Maestra en
Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Presenta:

Biól. Betiana Melisa Coronel

Director: Dr. Arturo Serrano Solís

Co-Director: Dr. Joel Ortega Ortiz

Julio de 2021

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”



Universidad Veracruzana

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Región Poza Rica - Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Estimación de la abundancia poblacional de la tonina (Tursiops truncatus) y propuesta de área prioritaria en el norte de Veracruz

Tesis para obtener el grado de Maestra en
Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Presenta:
Biól. Betiana Melisa Coronel

Director: Dr. Arturo Serrano Solís
Co-Director: Dr. Joel Ortega Ortiz



Universidad Veracruzana

Tuxpan de Rodriguez Cano, Veracruz, México

23 de octubre de 2021

Mtro. Agustín de Jesús Basañez Muñoz

Coordinación Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Por medio de la presente me dirijo a Ud. para dar conocimiento de que el Presente Proyecto titulado **“Estimación de la abundancia poblacional de la tonina (*Tursiops truncatus*) y propuesta de área prioritaria en el Norte de Veracruz”** realizado por la C. **Biol. Betiana Melisa Coronel**, bajo la Dirección del **Dr. Arturo Serrano Solís**, ha sido aprobado y aceptado para poder llevar a cabo la solicitud de dictamen de liberación del documento:

Dr. Arturo Serrano Solís

Director



Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz a 27 de octubre de 2021

Mtro. Agustín de Jesús Basañez Muñoz

**Coordinador
Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Región Poza Rica-Tuxpan
Universidad Veracruzana**

A través de este conducto quiero expresarle mi entera aprobación de la tesis titulada: **“Estimación de la abundancia poblacional de la tonina (*Tursiops truncatus*) y propuesta de área prioritaria en el Norte de Veracruz”** realizada por la C. Biol. **Betiana Melisa Coronel**, bajo la Dirección del Doctor Arturo Serrano Solis. Por lo anterior, quedo en espera de la Carta de Liberación para firmarla para que de esta manera la estudiante pueda continuar con el proceso de titulación del posgrado.

Atentamente

DRA. CELINA NAVAL ÁVILA
Docente Titular “C”
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Región Poza Rica-Tuxpan



Universidad Autónoma del Carmen

Facultad de Ciencias Naturales

Cd. del Carmen, Campeche, México.



Ciudad del Carmen, Campeche a 27 de octubre de 2021

A quien corresponda
PRESENTE

Por este medio hago de su conocimiento que una vez revisado el documento final de tesis presentado por la Biól. Betiana Melisa Coronel, de la Maestría en Manejo de Ecosistema Marinos y Costeros titulada "Estimación de la abundancia poblacional de la tonina (*Tursiops truncatus*) y propuesta de área prioritaria en el norte de Veracruz", doy mi voto aprobatorio continuar con el proceso de obtención del grado.

Atentamente

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Dr. Alberto delgado Estrella".

Dr. Alberto delgado Estrella
Profesor-Investigador PTC-B



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



2020
AÑO DE
LEONORA VICARIO
BENEMÉRITA MADRE DE LA PATRIA

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

**A Quien Corresponda
Presente.**

ASUNTO: Aprobación de tesis de Betiana Melisa Coronel

Ensenada, Baja California, 26 de octubre de 2021.

A través de este conducto comunico mi voto aprobatorio para la tesis de Maestría en Manejo de Ecosistema Marinos y Costeros titulada "Estimación de la abundancia poblacional de la tonina (*Tursiops truncatus*) y propuesta de área prioritaria en el norte de Veracruz", presentada por la Biól. Betiana Melisa Coronel.

Atentamente

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski
Investigadora Titula C
Departamento de Biología de la Conservación



Agradecimientos

De todas las elecciones que podría haber tomado en mi vida, hacer una maestría fuera de mi país ha sido la decisión más acertada que he tomado. Desde lo académico a lo personal, México me dio grandes aprendizajes que jamás olvidaré. Me llené de cultura, paisajes, amistades y experiencias que dieron un giro en mi percepción de la vida. Agradezco profundamente a este país por recibirme con los brazos abiertos y darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente. El primer y gran agradecimiento es para la educación pública de México, uno de los derechos más preciados que puede tener una nación, dándole la posibilidad de formarse y elegir su profesión a personas de todas las clases sociales.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), institución que hace posible el desarrollo científico de este país y a través de una beca (CVU: 1009741) me dio la posibilidad de vivir en este país y concretar este trabajo. También a la Organización de los Estados Americanos (OEA), quienes me honraron con su beca para manutención. Mi agradecimiento también para la Universidad Veracruzana, por su calidad académica y sus esfuerzos constantes en darle calidad a los posgrados que ofrece a pesar de las adversidades. A la Universidad Nacional de Cuyo Mendoza-Argentina, por haber sido mi primer eslabón clave en la formación académica, aquí me formé y me armé de herramientas para enfrentar un posgrado. A la Asociación Universitaria Iberoamericana de Posgrado (AUIP) y a la Universidad de Cádiz (UCA) que con su financiamiento pude hacer mi estancia de investigación en Cádiz, España lo que me ayudó a fortalecer este trabajo, nutrirlo y mejorar su calidad.

Al Dr. Arturo Serrano Solís, mi director y guía en este desafío, quien me contagió su pasión por los cetáceos y por hacer realidad algo que parecía imposible en mi cabeza.... ¡Investigar delfines! Gracias por todas las veces que me dio la libertad de tomar decisiones, de planificar el trabajo en campo y abordar la tesis desde mi criterio personal. Gracias por siempre alentarme a que confíe en mí, eso no tiene precio. Ha sido un honor trabajar con semejante investigador, gracias por darme esta oportunidad, mi agradecimiento es gigante. Al Dr. Joel Ortega Ortiz que desde la distancia hizo aportes cruciales para mejorar este trabajo.

Desde que empecé este camino, el Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz me brindó su confianza y agradezco infinitamente su orientación, paciencia, facilidades y amabilidad para dar semejante paso en mi vida. Gracias por su predisposición y animarme siempre en el camino.

Al jurado, Dra. Celina Naval Ávila, Dr. Alberto Delgado Estrella y Dra. Gisela Heckel que dedicaron su tiempo y criticaron constructivamente este trabajo, siempre dando contribuciones para mejorar los puntos débiles que se iban presentando y valorar mis esfuerzos. Gracias por darle calidad a mi trabajo.

Del ámbito académico también quiero valorar a los docentes de la Universidad Veracruzana, quienes con mucha calidad y experiencia nos han brindado su conocimiento. Al Dr. Víctor Soto, quien siempre colaboró atentamente con la parte de modelado y uso de sistemas de información geográfica. También a la Mtra. Anahí Ojeda Sánchez, quien desinteresadamente siempre me orientó, contestó mis dudas y a quien ya considero mi amiga desde la virtualidad. Su calidez me dio muchas veces las respuestas que buscaba, siempre tuvo tiempo para mí y también me contagió su pasión por los cetáceos. ¡Gracias Anahí!

A la Dra. Rocío Jiménez Ramos, investigadora postdoctoral de la UCA quien me recibió y me brindó todo su apoyo durante mi estancia de investigación. Su calidez y experiencia me dieron la posibilidad de aumentar mis conocimientos y de vivir una increíble experiencia de vida.

A mis compañeras y compañeros de maestría de mi generación y la anterior, gracias por las risas, los viajes, las salidas a campo, los buceos y todo lo que aprendí de ustedes. Gracias por recibirme con tanto amor y hacerme sentir como en casa. Quiero agradecer especialmente a la Biól. Sandy Michele Villaseñor Reyes, quien se convirtió en mi refugio, mi amiga, mi confidente. ¡Gracias San! Le pusiste color a este camino, me acompañaste y me ofreciste tu amistad, hiciste que esto sea menos difícil, me abrazaste cuando más lo necesité y me hiciste parte de tu familia. Te llevo siempre en el corazón. A la Mtra. Abigail Ramírez Cabrera, quien también me apoyó siempre y alegró mis días cuando era difícil. Gracias Abi por tantas noches de filosofía, reflexiones y risas. Gracias por ese viaje introspectivo donde las tres conectamos nuestras almas. También un pedacito de mí te pertenece.

A mi familia, mamá y papá en especial, quienes hicieron esto posible y me dieron la fuerza que necesitaba para emprender este camino. Gracias por darme la oportunidad de estudiar la carrera que quería, no hay mejor regalo que pudiera haber recibido de ustedes. A mis hermanas/o, tías/os, abuelas/os, primas/os; a quienes extrañé cada día, gracias por confiar en mí, sin ustedes no hubiese podido transitar este camino. A mi padrino Paul, quien ha conectado conmigo siempre en la distancia y cada comunicación fue un consuelo enorme. Gracias por siempre tener consejos sabios y un abrazo en la distancia para mí. A toda mi familia, esta tesis también les pertenece.

A mis amistades inquebrantables de Argentina, siempre estando presentes, siempre alentándome cuando sentía que no podía, esta tesis se las debo a ustedes. Gracias por todo lo que hicieron para que pudiera emprender este camino y no soltarme nunca la mano. Aquí no puedo dejar de agradecer a la Lic. en Matemática Ayelén Alcántar y al Lic. en Matemática Ignacio Ceresa, quienes me han dedicado muchísimo tiempo y colaboraron desinteresadamente en la aplicación de los modelos matemáticos de abundancia. Su aporte fue crucial en esta tesis, un millón de gracias por siempre estar. A la Bióloga Iara Figini con quien desde pequeñas nos apoyamos en nuestros proyectos individuales, gracias por escucharme, leer y contribuir en mis presentaciones en la maestría. Deseo siempre tener este vínculo, gracias por compartir la pasión de la investigación.

A la Dra. Paola Lorena Sassi, quien no sólo dirigió mi tesis de licenciatura, sino que se convirtió en una amiga incondicional. Sus palabras siempre me calmaron y su compañía en la distancia también ha sido clave en este proceso. Gracias Pao, es un placer enorme haberte encontrado en mi camino.

Sin embargo, no hay palabras que describan la gratitud que tengo por tan hermosa experiencia en este país...

Dedicatoria

Mariela y Omar, mis pilares de vida y el tesoro máspreciado.

Gracias por esa infancia llena de luz, juegos y libertad.

Gracias por enseñarme que los esfuerzos se disfrutan cuando
te dedicas a lo que te apasiona.

Después de todo este tiempo, después de todas estas estaciones

Después de tu única decisión de ir al agua por una razón

Ahora es solo el océano y tú. . .

Jack Johnson

Índice

Agradecimientos	3
Dedicatoria	6
Índice	8
Índice de Cuadros	10
Índice de Figuras	13
Resumen (opcional)	14
I. Introducción	15
2. Antecedentes	18
Uso de metodologías para estudiar a <i>T. truncatus</i>	18
Estudios sobre la especie en la zona costera del norte de Veracruz	19
Problema de estudio	25
3. Área de estudio	27
4. Materiales y métodos	29
Estimación de la abundancia poblacional	29
Navegaciones de foto-identificación.....	29
Proceso de foto-identificación	30
Distribución de <i>T. truncatus</i>	35
5. Resultados	40
Estimación de la abundancia poblacional	40
Navegaciones de foto-identificación.....	40
Determinación del hábitat de preferencia.....	43
Distribución de <i>T. truncatus</i>	43
Variables ambientales y preferencia de <i>T. truncatus</i>	45
Actividades humanas	46
Delimitación del Área Prioritaria.....	49
6. Discusión	54
Estimación de la abundancia poblacional	54
Determinación del hábitat de preferencia.....	56
Distribución y hábitat de preferencia entre temporadas	58
Actividades humanas	61

Delimitación del Área Prioritaria.....	63
7. Conclusiones.....	65
8. Aplicación Práctica	66
Propuesta de Área Prioritaria en el norte de Veracruz	66
9. Referencias.....	73

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Variables para delimitar el Área Prioritaria.....	38
Cuadro 2. Análisis ANOVA Kruskal-Wallis para el esfuerzo de muestreo.....	42
Cuadro 3. Abundancia poblacional anual (Jolly-Seber).....	41
Cuadro 4. ANOVA Kruskal Wallis para las variables ambientales.....	45
Cuadro 5. Registro de actividades humanas.....	47

Índice de Figuras

Figura 1. Especie de estudio.....	16
Figura 2. Área de estudio en la plataforma sur del golfo de México.....	28
Figura 3. Navegaciones de Foto-identificación.....	29
Figura 4. Correspondencia en FinBase.....	31
Figura 5. Curva Darling-Morowitz.....	39
Figura 6. Curva de acumulación de individuos.....	40
Figura 7. Área mínima de uso de hábitat por temporada.....	43
Figura 8. Variaciones en el hábitat de preferencia de <i>T. truncatus</i>	45
Figura 9. Actividades humanas y su relación con <i>T. truncatus</i>	47
Figura 10. Delimitación del Área Prioritaria Tipo A.....	49
Figura 11. Tasa de omisión de MaxEnt.....	50
Figura 12. Curva operacional ROC.....	51
Figura 13. Prueba Jackknife de importancia de variables.....	51
Figura 14. Delimitación del Área Prioritaria Tipo B.....	52
Figura 15. Modelo espacio-temporal de uso de hábitat en el norte de Veracruz.....	59
Figura 16. Área Prioritaria IUCN-IMMA en la zona Tuxpan-Tamiahua.....	71

Resumen

Los ecosistemas marinos son muy complejos y dinámicos, lo que dificulta el estudio de las interacciones de las especies con sus hábitats. La detección de componentes claves de los mismos, tales como los depredadores tope dentro de la red alimenticia es una estrategia eficiente para resolver estas complejidades. Los mamíferos marinos cumplen este papel de depredadores tope y sus poblaciones son estudiadas mediante la estimación de las variaciones espaciotemporales de los parámetros demográficos. Estos estudios resultan cruciales para evaluar su condición y el potencial impacto de las actividades antrópicas y así tomar decisiones de conservación y el manejo exitoso. En el golfo de México, la tonina (*T. truncatus*) se encuentra protegida por las leyes mexicanas, sin embargo, su interacción con las actividades antrópicas propias de las regiones costeras amerita especial atención y los registros de abundancia no son precisos. No obstante, los estudios realizados en el norte de Veracruz sugieren a esta región como un área de importancia para *T. truncatus*. Así, el objetivo general de este trabajo es conocer la abundancia actual de la población costera de *T. truncatus*, determinar su área de preferencia en la plataforma continental del norte de Veracruz y delimitar un área prioritaria para su conservación. Los resultados obtenidos sugieren que actualmente la población de toninas está cerca de los 400 individuos (usando el modelo de Jolly-Seber) y se mantiene relativamente constante. En las costas de Tuxpan y Tamiahua, los grupos de toninas son altamente dinámicos entre temporadas, presentando cambios en: la asociación entre individuos, el tamaño de grupo, las migraciones y los patrones comportamentales. Estas variaciones son respuestas a la variación en la disponibilidad del recurso trófico principalmente. Por lo que, las desembocaduras de la laguna de Tamiahua, la termoeléctrica y el río Tuxpan resultan de crucial importancia para esta especie durante las tres temporadas. Por otro lado, la pesca y el tráfico marítimo son las actividades antrópicas principales en la zona y tienen el potencial de afectar a esta especie. Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio evidencian la necesidad de delimitar los sitios de importancia para *T. truncatus*, siendo ésta una forma estratégica de conservación de los ecosistemas costeros.

Palabras clave: abundancia Jolly Seber, *Tursiops truncatus*, norte de Veracruz, modelado de hábitat, propuesta de área prioritaria.

I. Introducción

La diversidad biológica marina y costera abarca un gran número de especies con una gran diversidad genética y varios hábitats con procesos biológicos y ambientales de gran importancia (Vegas-Gallo, 2020). En particular, las zonas costeras contribuyen con más del 60% de especies del total del valor económico del planeta (Martínez et al., 2007; Liqueste et al., 2013). Estos ecosistemas resultan cruciales ya que prestan servicios ecosistémicos claves para el desarrollo humano (Gómez-Aguayo, 2017; CEPAL, 2019). De aquí se deriva la necesidad de estudiar desde todos los campos de la ciencia las características que componen estos ecosistemas y los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en ellos (Liqueste et al., 2013).

El estudio de las interacciones de las especies con sus hábitats en los ecosistemas marinos es difícil y costoso, pues son ecosistemas muy complejos y dinámicos (Becker et al., 2012). Una estrategia habitual para resolver esta complejidad cuando se estudian los ecosistemas marinos es la detección de componentes clave de los mismos, tales como los depredadores tope dentro de la red alimenticia (Certain y Planque, 2015). Los mamíferos marinos cumplen este papel de depredadores tope y sus poblaciones están directamente influenciadas por los eventuales cambios en los niveles tróficos inferiores y viceversa (Kiszka et al., 2015). Así, los mamíferos marinos, pueden ser utilizados estratégicamente como un indicador del estado de salud y funcionamiento de los ecosistemas marinos (Fossi et al., 2018).

Las poblaciones de depredadores tope son estudiadas mediante la estimación de las variaciones espaciotemporales de los parámetros demográficos (e.g. abundancia, densidad, distribución, ámbito hogareño, entre otros; Maciel-Mata et al., 2015). Estos estudios resultan cruciales para evaluar su condición y el potencial impacto de las actividades antrópicas y así tomar decisiones de gestión correctas (Santos y Pierce, 2015). Asimismo, la conservación y el manejo exitoso de las poblaciones de depredadores tope requieren una comprensión precisa de su estado (Santos y Pierce, 2015).

La ecorregión marina golfo de México es un escenario heterogéneo que alberga una amplia diversidad de especies de mamíferos marinos (Waring et al., 2010; Heckel et al., 2020; Ramírez-León et al., 2020). En el golfo se encuentra una especie de sirenio y

aproximadamente 28 especies de cetáceos (Ortega-Ortiz et al., 2004; Waring et al., 2010; Serrano et al., 2011; Ward y Tunnell, 2017; Ramírez-León et al., 2020). Los mysticetos y odontocetos presentes son diversos en formas y tamaños como así también en los hábitats que ocupan (Serrano et al., 2011; Ward y Tunnell, 2017). Uno de los odontocetos más comunes en el golfo de México es *Tursiops truncatus*, conocido como tonina o delfín nariz de botella (Cetacea: Delphinidae; Figura 1). Esta especie presenta una amplia distribución en los océanos tropicales y templados del mundo, incluyendo las aguas oceánicas y costeras del Mar Caribe y el golfo de México (Serrano et al., 2011; Vollmer y Rosel, 2013; Ward y Tunnell, 2017; Wells et al., 2019; Ramírez-León et al., 2020). En el golfo de México *T. truncatus* es el único cetáceo que habita desembocaduras de ríos, lagunas costeras, zona litoral, nerítica y oceánica, por lo que su presencia está asociada con áreas de gran variabilidad de temperatura y salinidad (Waring et al., 2010; Guevara-Aguirre, 2011; Martínez-Serrano et al., 2011; Delgado-Estrella et al., 2015).



Figura 1. Especie de estudio. Individuo de *Tursiops truncatus* en la zona costera del norte de Veracruz. Fotografía tomada durante el trabajo en campo de esta tesis.

Actualmente, esta especie se emplea como bioindicador en el monitoreo del estado de salud de los ecosistemas marinos (Serrano et al., 2007; Fossi et al., 2018) ya que es un depredador tope (Reif et al., 2017; Davidson, 2018), convive con actividades pesqueras y petroleras de alto impacto económico para el estado mexicano (Valdes-Arellanes et al., 2011;

Hernández-Candelario et al., 2015) y es una especie considerada “vector” de transferencia de materia y energía en los ecosistemas que habita (Delgado-Estrella, 2015; Segura-García et al., 2018). Además, esta especie cuenta con poblaciones que podrían considerarse residentes, alimentándose de las zonas de alta productividad como las desembocaduras de ríos y lagunas costeras (Martínez-Serrano et al., 2011; Delgado-Estrella, 2015; Serrano et al., 2017). Su papel en la trama trófica y sus características biológicas ubican a *T. truncatus* como una especie estratégica para conocer el estado actual de los ecosistemas costeros que habita (Serrano et al., 2007; Svendsen, 2013). Además, su avistamiento en vida libre podría ser un recurso turístico potencial ya que es una especie carismática (Giglio et al., 2015; Agius et al., 2018). Por lo tanto, continuar con estudios que profundicen el conocimiento de esta especie es estratégico no sólo para su conservación sino para la de todo el ecosistema que habita, tal como sugiere Ortega-Ortiz et al. (2004).

A pesar de que *T. truncatus* se encuentre protegida por las leyes mexicanas (SEMARNAT, 2010), su interacción con las actividades antrópicas propias de las regiones costeras amerita especial atención. Asimismo, los registros de abundancia no son precisos y esta información resulta fundamental para tomar decisiones de manejo y conservación. En este sentido, los estudios realizados en el norte de Veracruz sugieren a esta región como un área de importancia para *T. truncatus* (Galindo et al., 2009; Valdes-Arellanes et al., 2011; Vázquez-Castán et al., 2014). Con base en la información antes mencionada, se plantean las siguientes preguntas: ¿Cuál es la abundancia de *T. truncatus* en el norte de Veracruz desde los primeros reportes hasta la actualidad? ¿Ha cambiado su abundancia a lo largo del tiempo? ¿Cómo se dispone el hábitat de preferencia de *T. truncatus*? ¿Existe alguna interacción de *T. truncatus* con las actividades antrópicas que se realizan en la zona costera en el norte de Veracruz?

2. Antecedentes

Uso de metodologías para estudiar a *T. truncatus*

La abundancia es un parámetro útil para estimar poblaciones. En el caso de los cetáceos, principalmente se utilizan dos métodos para estimarla: muestreo a distancia por transecto lineal (Buckland et al., 2001; Krebs et al., 2020; entre otros) y captura-recaptura (Begon 1979, 1983; Rosel et al., 2011; entre otros). El muestreo a distancia por transecto lineal es adecuado para animales que son difíciles de capturar (Sutherland, 2006) y asume que la capacidad de detectar animales del observador es constante y la probabilidad de detección disminuye conforme aumenta la distancia, dando así una estimación de densidad poblacional (Buckland et al., 2004; Buckland et al., 2015). Una ventaja de usar el muestreo a distancia por transecto lineal es que calcula la precisión mediante el coeficiente de variación de los datos a evaluar (Buckland y York, 2018). Esta metodología requiere realizar una serie de muestreos de distancia repetidos, aleatorios y sistemáticos, dentro de un área (Sutherland, 2006). Por otro lado, el método captura-recaptura consiste en capturar aleatoriamente individuos de una población, marcarlos, liberarlos y, en un próximo muestreo, recapturarlos o marcar individuos nuevos (Sutherland, 2006). Este tipo de metodología es muy útil para poblaciones abiertas y cerradas a pesar de requerir múltiples recapturas; y además permite estimar otros parámetros poblacionales de manera no invasiva, ya que se utilizan fotografías (Seber, 1982; Pollock et al., 1990; Sutherland, 2006; Rosel et al., 2011). Las estimaciones de abundancia de cetáceos en el sur del Golfo de México provienen principalmente de estudios de identificación con fotografía (Galindo et al., 2009; Vázquez-Castán et al., 2014).

Diversas metodologías y técnicas de muestreo han sido empleadas a la hora de recopilar datos sobre el estado poblacional de *T. truncatus* (Valdes-Arellanes et al., 2011; Svendsen, 2013; Ramos et al., 2017 y 2018). La estimación de su abundancia se ha calculado en mayor medida mediante la técnica de foto-identificación y análisis de captura-recaptura (Ortega-Ortiz, 2002; Valdes-Arellanes et al., 2011; Buckland y York, 2018). Esta técnica permite determinar el tamaño de la población y estimar otros parámetros, como supervivencia y reclutamiento, los cuales pueden asociarse con factores de presión ambiental, competencia por los recursos y depredación (Rosel et al., 2011; Svendsen, 2013). Puntualmente, la foto-

identificación es una herramienta útil en la estimación de la abundancia de una población, permitiendo individualizar organismos de acuerdo con marcas permanentes en sus aletas dorsales y provee además un registro permanente que puede ser documentado y verificado (Rosel et al., 2011). Asimismo, la foto-identificación también se ha complementado con el método por transecto lineal en esta especie, tal como el estudio realizado por Vázquez-Castán et al. (2014).

Estudios sobre la especie en la zona costera del norte de Veracruz

Existen estudios que reportan la abundancia y distribución de *T. truncatus* en las costas del norte de Veracruz en el Golfo de México. En el periodo 2005-2007 se registró una abundancia (método Jolly-Seber) de 302 ± 113 en la región de Tamiahua hasta Cazones (Valdes-Arellanes et al., 2011). La abundancia de delfines usando la metodología de muestreo a distancia resultó de 2,632 toninas, con una densidad de 0.35 delfines/km² en la región comprendida desde Tamiahua hasta Nautla (Vázquez-Castán et al., 2014). Asimismo, en el estudio de Serrano et al. (2017) se observó que la zona de Tuxpan presentó mayor cantidad de delfines cuando se compara entre localidades del norte de Veracruz. Sus resultados muestran que, a pesar de ser un área pequeña, hay una alta densidad de delfines en el norte de Veracruz. Cabe resaltar que hay registros de foto-identificación en la laguna de Tamiahua iniciados por Heckel (1992) y Schramm (1993) y desde entonces se han fotografiado e identificado individuos de la especie en toda la zona costera de Tuxpan, Tamiahua y Nautla, teniendo registros en el Laboratorio de Mamíferos Marinos de la Universidad Veracruzana, campus Tuxpan, desde 2005 a 2021.

Asimismo, se ha estudiado la caracterización del hábitat, distribución, ámbito hogareño y composición grupal (Martínez-Serrano et al., 2011; Serrano et al., 2017). En hábitats abiertos como son las costas del norte de Veracruz, el tamaño promedio de grupo fue de ocho individuos, un valor característico de poblaciones de delfines en hábitats costeros (Serrano et al., 2017). En este sentido, el tamaño del ámbito hogareño y la distribución de esta población tiene como principal condicionante los flujos de los ríos adyacentes (Valdes-Arellanes et al., 2011; Peña-Mendoza, 2014; Serrano et al., 2017). En cuanto al hábitat de preferencia entre temporadas se observó que, durante la temporada de Nortes, los delfines se

compactan más cerca de la costa desde la boca de la laguna de Tamiahua hasta el río Cazones (Martínez-Serrano et al., 2011). Cuando empieza la temporada de Secas, los ríos disminuyen sus volúmenes de agua lo que conlleva al acercamiento de los delfines a la desembocadura de la laguna de Tamiahua y el río Tuxpan (Martínez-Serrano et al., 2011). Durante la temporada de Lluvias, las plumas de los ríos son mayores, aumentando espacialmente la productividad biológica y por ende, el alimento para las toninas (Peña-Mendoza, 2014; Martínez-Serrano et al., 2011). Asimismo, se han reportado individuos cerca de los arrecifes coralinos, esto puede deberse a que las corrientes de agua viajan a lo largo de la costa hacia el norte y contribuyen a aumentar la riqueza en estas áreas (Martínez-Serrano et al., 2011). En este sentido, se ha propuesto que se consideren a los delfines de Tamiahua y Tuxpan como una sola comunidad residente (Martínez-Serrano et al., 2011).

Los patrones de comportamiento de sociabilización en la zona de Tamiahua y Tuxpan coinciden con los sitios de alimentación, desplazamiento y descanso; comportamientos altamente reportados (Retureta-Delgado, 2012; Ojeda-Sánchez, 2020). Estas áreas son las desembocaduras de ríos y lagunas, la costa de Barra Galindo y en los arrecifes Blanquilla (Ojeda-Sánchez, 2020). La zona de Tuxpan en temporada de Lluvias y secas representaría una mayor disponibilidad de alimento para esta población (Ojeda-Sánchez, 2020). También hay presencia de crías en todas las temporadas, por lo que las áreas costeras y desembocaduras de ríos y lagunas representan zonas de importancia para la crianza, reproducción y alimentación de *T. truncatus* (Ojeda-Sánchez, 2020).

En cuanto a los registros varamientos (fenómeno que puede causar la muerte de mamíferos marinos), *Tursiops truncatus* presenta datos fragmentados. En las costas del estado de Veracruz, entre los años 1993 y 1994 se registraron 14 delfines varados (Vázquez-Castán et al., 2009). El siguiente reporte data en 2004, donde hubo 17 delfines varados, según la Red de Varamientos de Tortugas y Mamíferos Marinos del Estado de Veracruz (REVATMMEV; Ortega-Argueta y Gordillo-Morales, 2004). Así, no hay datos actualizados y publicados sobre el índice de varamientos de esta especie. Por otro lado, recientemente se ha analizado por primera vez la prevalencia y abundancia del comensal balanos (*Xenobalanus globicipitis*) en *T. truncatus* en las zonas de Tamiahua y Tuxpan. Los resultados muestran que la cantidad de balanos en los delfines del área son altos respecto de otros estudios similares, lo que podría suponer un mal estado de salud (Gómez-Hernández et

al., 2020). Sin embargo, los factores ambientales y las características del hábitat de *T. truncatus* influyen en la prevalencia y abundancia de balanos (Gómez-Hernández et al., 2020). Es decir, el aumento de la temperatura de la superficie del mar podría ser el causante del aumento en la abundancia de balanos en las toninas (Gómez-Hernández et al., 2020).

En líneas generales, estos estudios puntuales han contribuido a dilucidar, desde distintas perspectivas, la ecología y biología de la población de toninas y su relación con el ambiente que habita en el norte de Veracruz. Un punto en común en las recomendaciones de estos estudios es la aplicación de áreas protegidas y planes de manejo para la conservación de esta especie en esta región (Retureta-Delgado, 2012; Martínez-Serrano, 2011; Peña-Mendoza, 2014; Ojeda-Sánchez, 2020). Sin embargo, hasta el momento no hay registros de propuestas concretas que apunten a resolver estas recomendaciones.

Actividades humanas

El factor antrópico en la actualidad representa una gran amenaza sobre los ecosistemas, ya que cerca del 60% de los principales ecosistemas marinos que sustentan el planeta se han degradado o se están utilizando de manera insostenible (CEPAL, 2019). Las áreas costeras resultan ser los ecosistemas más importantes, ya que contribuyen en la protección contra inundaciones, actúan como un sumidero para la acumulación de nutrientes, aportan grandes cantidades de alimento y son una fuente económica importante debido al turismo, entre otros beneficios (CEPAL, 2019). En las costas del Golfo de México, diversos estudios mencionan múltiples actividades humanas con el potencial de afectar a los cetáceos, tales como: agotamiento de los recursos, captura incidental (provocando lesiones y muerte), captura intencional o directa (para consumo animal y humano, exhibiciones recreativas, entre otros), choques con embarcaciones y contaminación acústica (Ward y Tunnell, 2017), por mencionar algunas.

En este sentido, el estado de Veracruz está en el quinto lugar de producción pesquera a nivel nacional (representando un ingreso anual de \$1,719,030 para todo el estado), por lo que esta actividad es de gran impacto económico (Lango-Reynoso y Castañeda-Chávez, 2011; INEGI, 2017). En el norte de Veracruz, la zona habitual para realizar esta actividad comercial abarca un mínimo de 20 km desde la costa incluyendo los alrededores del Área de

protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (Argüelles-Jiménez et al., 2019). Los artes de pesca más frecuentes son las redes de enmalle o agallera, cimbra o palangre y ocasionalmente el arpón (Argüelles-Jiménez et al., 2019). La actividad pesquera en la zona está profundamente arraigada en el contexto social, siendo una de las labores primordiales que soportan la economía de las familias de la zona (Argüelles-Jiménez et al., 2019). Con relación a esto, Rechimont (2015) describió la competencia por el recurso entre toninas y la pesca artesanal en las costas de Alvarado, Veracruz. Encontró que 13 especies de peces de importancia comercial (Jurel común, Pámpano Amarillo, Cojinuda, Mojarra blanca, Ronco, Huachinango común, Huachinango cola amarilla, Chac-chí, Rubia, Lisa, Peto, Sierra, Villajaiba) presentes en las faenas pesqueras, integran la dieta de *T. truncatus*. Estas especies también están presentes en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (González Gándara et al., 2013) y algunas también han sido registradas por el estudio socio-económico de la pesquería en Tamiahua de Argüelles-Jiménez et al. (2019).

Asimismo, la pesca del camarón representa una actividad extractiva de alto impacto económico en las costas del norte de Veracruz y en la desembocadura de ríos y lagunas (Rivera-Moreno et al., 2013). Así, resulta crucial integrar el factor antrópico en los estudios ecológicos para lograr comprender la forma y el grado en que las actividades humanas están afectando a los ecosistemas (Argüelles-Jiménez et al., 2019), desde escalas locales a regionales.

Modelado de hábitat

Debido a que los recursos económicos suelen ser limitados, la conservación de grandes áreas naturales debe centrarse en aquellas áreas donde se produzcan los mayores beneficios y los esfuerzos concluyan en mejores resultados (Sánchez et al., 2008; Geneletti, 2011). Una conservación eficaz requiere definir, conocer y dar prioridad a las zonas que necesitan de un accionar urgente (Geneletti, 2011). Por lo que la delimitación de áreas prioritarias es una herramienta clave para orientar y optimizar los esfuerzos de estudio, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Sánchez et al., 2008; Arriaga-Cabrera et al., 2009). En este sentido, las áreas prioritarias para los mamíferos marinos (IUCN-IMMA, del inglés Important Marine Mammal Areas) están definidas como

“áreas de hábitat discretas, importantes para una o más especies de mamíferos marinos, que tienen el potencial de ser delineadas y gestionadas para la conservación" según IUCN Marine Mammal Protected Areas Task Force (2018).

A la hora de delimitar áreas prioritarias, diversos estudios toman como estrategia el modelado de hábitat de mamíferos marinos mediante el uso de información obtenida de sensores remotos, tales como Davis et al. (2002), De Rock et al. (2019) y Tardin et al. (2020) entre otros. El modelado del hábitat permite mayor descripción y comprensión de los factores que pueden influir en los patrones espaciales y temporales observados en campo de estas especies (De Rock et al., 2019; Tardin et al., 2020). Asimismo, la IUCN Marine Mammal Protected Areas Task Force (2018) sugirió el uso del modelado de hábitat mediante la distribución potencial como herramienta de conservación. Por otro lado, las predicciones ante el cambio climático son otra línea de investigación que utiliza el modelado de hábitat, ya que se puede predecir cómo podrían comportarse las poblaciones de cetáceos en respuesta a este fenómeno (Hazen et al., 2013).

Así, el uso del modelado de hábitat puede ser crucial a la hora de configurar evaluaciones de impacto ambiental e identificación de posibles áreas de conservación (De Rock et al., 2019). Por lo tanto, el uso de sensores remotos es una herramienta extremadamente útil en áreas de investigación que conectan y clarifican formas eficientes para el manejo y gestión de áreas prioritarias.

Marco legal

Este estudio se enmarca a nivel internacional dentro de la Agenda para el desarrollo sostenible 2030 propuesta por las Naciones Unidas. Dentro de sus 17 objetivos principales se encuentran los ecosistemas subacuáticos. Puntualmente, el objetivo 14 afirma que es necesario “conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos” teniendo como metas principales, acordes con este trabajo, las que se describen a continuación:

- Gestión y protección sostenible de los ecosistemas marinos y costeros evitando así efectos adversos. Asimismo, se apunta a la incorporación de medidas para restaurar su salud y su productividad.

- Conservar al menos el 10% de las zonas costeras y marinas, de conformidad con las leyes nacionales y el derecho internacional y sobre la base de la mejor información científica disponible.
- Aumentar los conocimientos científicos, desarrollar la capacidad de investigación y transferir tecnología marina, teniendo en cuenta los Criterios y Directrices para la Transferencia de Tecnología Marina de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, a fin de mejorar la salud de los océanos y potenciar la contribución de la biodiversidad marina al desarrollo de los países en desarrollo, en particular los pequeños estados insulares en desarrollo y los países menos adelantados.

De igual manera, este estudio responde a la “Guía sobre el uso de la selección de criterios para la identificación de Áreas importantes de mamíferos marinos (IMMA)”, publicado por IUCN Marine Mammal Protected Areas Task Force (2018). Este estudio está argumentado por los siguientes criterios:

- Criterio B: Distribución y abundancia
 1. Poblaciones pequeñas y residentes: Áreas que albergan al menos una población residente, que contienen una proporción importante de esa especie o poblaciones, que están ocupadas de manera constante.
 2. Agregaciones: Áreas con cualidades subyacentes que soportan concentraciones importantes de una especie o población.
- Criterio C: Actividades clave del ciclo de vida
 1. Áreas reproductivas: Áreas y condiciones que son importantes para que una especie o población se aparee, dé a luz, y / o cuidar a las crías hasta el destete.
 2. Áreas de alimentación: Áreas y condiciones que proporcionan una base nutricional importante de la que una especie o la población depende.
 3. Rutas de migración: Áreas utilizadas para importantes migraciones u otros movimientos, que a menudo conectan distintos ciclos de vida. Áreas o conexión de diferentes partes del rango de distribución durante todo el año de una población no migratoria.

A nivel nacional, en la Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (Última Reforma DOF 05-06-2018), este trabajo aporta y responde a disposiciones como “La

preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas”.

Problema de estudio

A nivel global, *T. truncatus* es una especie de preocupación menor (Wells et al., 2019). Sin embargo, como ya se detalló anteriormente, esta especie está expuesta a una amplia gama de amenazas antrópicas reportadas en todo el mundo (Bearzi et al., 2009; Lango-Reynoso y Castañeda-Chávez, 2011; Ward y Tunnell, 2017; Mintzer et al., 2018). En el Golfo de México, la tonina ha sido catalogada por la IUCN en 2019 con Datos insuficientes (Wells et al., 2019), CITES (2021) la ubicó en el apéndice II que agrupa a aquellas especies que “no están necesariamente amenazadas de extinción pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio” y la SEMARNAT (2010) la ubica Bajo Protección Especial. A pesar de ser una especie protegida por las leyes mexicanas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), en la zona del norte de Veracruz en el Golfo de México no hay datos actualizados que den conocimiento del estado actual de las poblaciones de *T. truncatus*. Tampoco hay estudios que propongan planes de conservación activos sobre esta especie a nivel local.

HIPÓTESIS

Hipótesis

- Si la población de *T. truncatus* es saludable, entonces la abundancia no ha variado significativamente a lo largo del tiempo o ha aumentado.

Predicción

- Si la abundancia poblacional de *T. truncatus* es mayor y/o igual a los registros anteriores, entonces su hábitat de preferencia está conservado.

OBJETIVOS

Objetivo General

Conocer la abundancia actual de la población costera de *T. truncatus*, determinar su área de preferencia en la plataforma continental del norte de Veracruz y delimitar un área prioritaria para su conservación.

Objetivos Particulares

- Estimar la abundancia poblacional anual en el periodo 2005-2021 tomando la base de datos de foto-identificación del ecotipo costero de *T. truncatus* en la plataforma continental del norte de Veracruz.
- Determinar el hábitat de preferencia de *T. truncatus* mediante el estudio de su distribución y su relación con la temperatura de la superficie del mar (TSM), la concentración de clorofila ([Cl *a*]) y la profundidad (P).
- Determinar si las actividades principales de *T. truncatus* se superponen con las actividades antrópicas que se desarrollan dentro del área de estudio.
- Proponer un área prioritaria para la conservación de la especie a partir del estudio del hábitat de preferencia.

3. Área de estudio

El golfo de México presenta condiciones oceanográficas muy dinámicas, alimentada por cinco masas de agua, corrientes de aire marítimo y tropical, las cuales interactúan con masas de aire frío y seco provenientes del continente (Monreal-Gómez et al., 2004; Lara-Lara et al., 2008; Uribe-Martínez et al., 2019). La ecorregión Sur del golfo de México abarca la parte tropical meridional de esta región, la cual es una cuenca semicerrada con corrientes tropicales. Esta ecorregión contempla las aguas frente a los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán, así como la zona profunda del talud frente a Florida y al abanico del Misisipi (Wilkinson et al., 2009).

La zona costera alberga una gran diversidad de hábitats que son sistemas interconectados, como bahías, deltas, lagunas costeras y estuarios, humedales, pastos marinos, y arrecifes de coral (Monreal-Gómez et al., 2004; Wilkinson et al., 2009). Asimismo, esta zona presenta un gran desarrollo costero registrando actividades de gran impacto económico como extracción de petróleo, turismo, pesca, entre otros (Wilkinson et al., 2009; INEGI, 2017). El sur del golfo presenta grandes variaciones en su profundidad donde las profundidades más someras son conocidas como zonas neríticas, continuadas por el talud y luego la cuenca del golfo sur (Wilkinson et al., 2009). En este escenario heterogéneo, se distinguen dos ecotipos poblacionales de *T. truncatus*: costero y oceánico (Baumgartner et al., 2001; Retureta-Delgado, 2012; Moreno y Mathews, 2018; Piwetz, 2019). Las toninas habitan normalmente sobre la plataforma continental siendo además el único cetáceo que habita lagunas costeras, desembocadura de ríos, zona litoral, nerítica y oceánica del golfo de México (Ortega-Ortiz et al., 2004; Delgado-Estrella et al., 2015; Würsig, 2019).

El sur del golfo de México presenta una temporada de Secas de marzo a junio, temporada de Lluvias de julio a octubre y temporada de Nortes de noviembre a febrero (Toledo-Ocampo, 2005; Ruiz-Barradas et al., 2010). Esta ecorregión está influenciada por la presencia de sistemas arrecifales, los cuales se conectan por una serie de arrecifes aislados emergidos y sumergidos (Salas-Monreal et al., 2017; Ortiz-Lozano et al., 2018). Puntualmente, en el estado de Veracruz se localiza el Corredor Arrecifal del Suroeste del

Golfo de México, incluyendo al norte a el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (Granados-Barba et al., 2019).

Dentro de esta ecorregión, se define nuestra área de estudio contemplando al área desde Tamiahua hasta Tuxpan (Figura 2), abarcando una distancia de 35 km de largo y 5 km mar adentro desde la línea de costa. La zona de Tamiahua se encuentra ubicada en las coordenadas $21^{\circ} 16' 42''$ N y $97^{\circ} 26' 53''$ O, mientras que la localidad de Tuxpan en las coordenadas $20^{\circ} 58' 31''$ N y $97^{\circ} 18' 45''$ O. El área de estudio incluye las desembocaduras del río Tuxpan y de la laguna de Tamiahua y está asociada con el Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT).

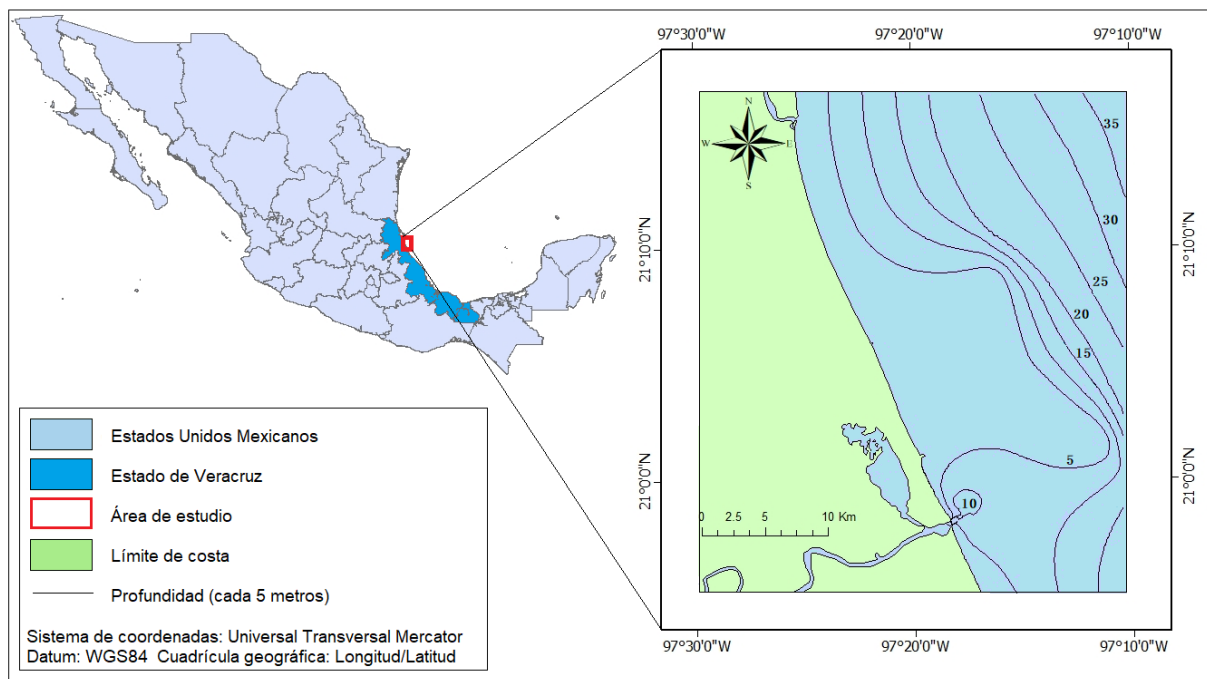


Figura 2. Área de estudio en la plataforma continental del sur del golfo de México. Región norte del estado de Veracruz delimitada desde Tamiahua (desembocadura superior: laguna de Tamiahua) hasta Tuxpan (Desembocadura inferior: río Tuxpan).

4. Materiales y métodos

Estimación de la abundancia poblacional

Navegaciones de foto-identificación

Se realizaron ocho navegaciones de observación de delfines desde marzo de 2020 a abril de 2021. Las salidas se realizaron en una embarcación marca Argos con motores fuera de borda de 115 Hp, a una velocidad media de 15 km/h con una duración promedio de cinco horas para cada navegación (Figura 3). En la planificación de las navegaciones se consideraron condiciones atmosféricas y oceánicas óptimas, con una velocidad del viento menor a 19 km/h (escala 3 de Beaufort; Cubero-Pardo, 2007). La ruta de navegación inició desde Tamiahua y se navegó hacia el sur de forma zigzagueante; se consideró cubrir el área de estudio con segmentos paralelos al ecuador. En cada navegación se intentó abarcar un aproximado de 5 km de la costa hacia mar adentro. Este límite se debe a que los delfines son localizados en las desembocaduras del río Tuxpan, así como de la laguna de Tamiahua, según los estudios que reportan la presencia de esta especie con distancias no mayores a 2.3 y 2.5 km de la línea de costa (Vázquez-Castán, 2007; Martínez-Serrano et al., 2011; Peña-Mendoza, 2014).



Figura 3. Navegaciones de foto-identificación realizadas durante el periodo 2020-2021.

Al detectar un grupo de delfines, se determinó su posición mediante un GPS portátil marca Garmin Etrex modelo 76CSx (precisión ± 3 m), tamaño máximo y mínimo de grupo, hora de salida y fecha en una hoja de navegación (Anexo A). La embarcación se posicionó a no menos de 50 metros de distancia y a una velocidad reducida, de acuerdo con lo establecido

en la Autorización de aprovechamiento de SEMARNAT (No extractivo Vía Observación de ballenas SEMARNAT 08-015-B; Vázquez-Castán, 2007; Martínez-Serrano, 2011) y en concordancia con lo planteado en la Licencia de colecta científica 2020, 2021 otorgada por la Subsecretaría de gestión para la protección ambiental al Laboratorio de mamíferos marinos de la Universidad Veracruzana. Las fotografías de los individuos de cada grupo se tomaron con una cámara digital canon EOS 70D con lente zoom de 100-400 mm para poder fotografiar perpendicularmente ambos lados de la aleta dorsal.

Proceso de foto-identificación

Posteriormente, en gabinete, se realizó la revisión de las fotografías de cada avistamiento para iniciar el proceso de foto-identificación. Esta técnica consiste en diferenciar los organismos por medio de características presentes en las aletas dorsales, tales como la coloración y presencia de marcas y/o cicatrices (Mazzoil et al., 2004). Para los propósitos de foto-identificación, sólo las fotografías más claras y distintivas de cada aleta fueron analizadas para establecer un “organismo tipo” (Mazzoil et al., 2004). La comparación de esa imagen con todas las demás (correspondencia) se realizó tomando el historial de captura del Laboratorio de Mamíferos Marinos desde el año 2005, incorporando las fotografías tomadas durante el periodo de muestreo de este estudio. Este proceso se desarrolló utilizando el programa FinBase versión 2 (Adams et al., 2006; Figura 4), siguiendo el protocolo de uso de Melancon et al. (2011). Este programa configura una base de datos integrada en la cual la correspondencia asistida y la catalogación de imágenes de aletas dorsales se agilizan, automatizan y ocurren dentro de la base de datos de foto-identificación (Adams et al., 2006). Las características de este programa reducen el tiempo y el esfuerzo requeridos en gabinete y elimina el error del investigador cuando se gestiona manualmente los archivos de imagen (Adams et al., 2006). Debido a que la calidad de las fotografías puede afectar la estimación de la abundancia, ya que puede generar falsos positivos o falsos negativos, se tuvo en cuenta las sugerencias de Friday et al. (2000 y 2008). Estos autores sostienen que la calidad de la imagen depende de atributos como el ángulo, el contraste, el enfoque y la claridad de la misma. Este sesgo es evaluado por FinBase, otorgando confiabilidad en las fotografías que luego ingresaron al proceso de foto-identificación

(Melancon et al., 2011). Asimismo, se determinó la eficiencia de la foto-identificación como el total de individuos en un grupo que son positivamente identificados durante un avistamiento en el que se toman fotos (Ortega-Ortiz, 2000).

FinBase Catalog Browser

ID: 1005

Alias:

FB:

Age: NA

YOB: NA

Sex:

Alive: Yes

Mom:

Image | **Date** | **Survey** | **Sighting** | **CatalogStatus**

74.JPG	25/12/2006	2	8	Yes
582.JPG	27/12/2006	10	11	Yes

Number of Sightings: 2
First Sighting: 25/12/2006
Last Sighting: 27/12/2006

FinBase Catalog Browser

ID: 2002

Alias:

FB:

Age: NA

YOB: NA

Sex:

Alive: Yes

Mom:

Image | **Date** | **Survey** | **Sighting** | **CatalogStatus**

308.JPG	31/08/2017	14	2	Yes
644.JPG	10/10/2020	18	8	No
619.JPG	12/04/2016	15	1	No

Number of Sightings: 8
First Sighting: 09/12/2007
Last Sighting: 27/12/2020

Figura 4. Correspondencia en FinBase. Historial de captura y recaptura de individuos de *T. truncatus* desde el año 2005 hasta la actualidad.

Para conocer si se ha fotografiado la totalidad de organismos en la población, se utilizó el modelo de Darling-Morowitz (1986) donde se relaciona la tasa de aparición de nuevos individuos identificados (número acumulativo de delfines individualizados vs. el número acumulativo de delfines foto-identificados nuevos). Asimismo, se aplicó el método de la curva de acumulación de individuos (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003; Colwell et al., 2005), la cual muestra el número de individuos foto-identificados en función del número de navegaciones en los ejes X-Y (Martínez-Serrano, 2011; Valdes-Arellanes et al., 2011; Ruíz-Hernández, 2014). Cuando la pendiente de la curva llegue a la asíntota, indicará la posible inexistencia de nuevos individuos; por lo tanto, el valor de las abscisas será igual al tamaño de la población (Valdes-Arellanes et al., 2011). Ambas curvas se graficaron utilizando el programa SigmaPlot versión 10.0.

Análisis de datos

Para visualizar el efecto del esfuerzo de muestreo sobre la foto-identificación, se comparó la variación anual en las navegaciones durante el periodo 2005-2021 mediante un análisis de la varianza no paramétrico Kruskal-Wallis, debido a que los datos presentaron una distribución no gaussiana.

Abundancia: Este parámetro se calculó anualmente desde el año 2005 (base de datos del Laboratorio de Mamíferos Marinos) hasta 2021. Para la estimación del número de organismos de la población de *T. truncatus*, se utilizó el modelo Jolly-Seber para poblaciones abiertas (Seber, 1982; Pollock et al., 1990; Sutherland, 2006), teniendo en cuenta además las consideraciones detalladas por Rosel et al. (2011). Este método requiere tomar al menos tres recapturas de cada individuo. Las muestras se obtienen de forma puntual en períodos de igual duración y son separadas por un largo periodo de tiempo, hasta tomar la próxima muestra, (Pozo Barbero, 2018). Aquí no es un inconveniente tener un estudio largo, ya que se considera que la población es abierta y no afecta el hecho de que se produzcan cambios en el tamaño poblacional durante el tiempo de estudio (Pozo-Barbero, 2018). Este método tiene los siguientes supuestos:

- Todo individuo de la población, marcado o no, tiene la misma probabilidad de ser seleccionado en la *i*-ésima muestra.

- Todo individuo marcado tiene la misma probabilidad de sobrevivir entre la selección muestral i -ésima y la $(i+1)$ -ésima, dado que pertenece a la población inmediatamente después de realizarse la devolución de la i -ésima muestra.
- Todo individuo observado en la i -ésima muestra tiene la misma probabilidad de ser devuelto a la población. Es decir, es la probabilidad de desaparición o de muerte accidental mientras que se está observando a un individuo que ha sido capturado en la i -ésima selección muestral.
- Los elementos marcados no pierden su marca y todos los marcados son registrados al re-capturarlos.
- Todas las muestras son instantáneas de forma que el tiempo en observarlas es despreciable y la devolución se realiza inmediatamente después de la observación.
- Toda emigración de la población es permanente.

Las fotografías tomadas a cada uno de los organismos sirven como marca durante el periodo de muestreo. Por lo que la primera vez que se fotografió un individuo se lo consideró como la captura y las siguientes fotografías tomadas del mismo se consideraron como recapturas (foto-recapturas). Esto es debido a que las poblaciones abiertas presentan nacimientos y/o muertes a escala anual. Por lo tanto, la abundancia anual se estimó mediante la siguiente ecuación (Seber, 1982):

$$N_i = \frac{M_i(n_i + 1)}{(m_i + 1)}$$

donde:

i = Año (periodo de muestreo).

N_i = Abundancia en el periodo de muestreo i ($i = 2, \dots, k-1$).

m_i = Número de animales marcados y capturados en el periodo de muestreo i .

n_i = Número de individuos fotografiados en la muestra i ($i = 1, \dots, k$).

M_i = Número de individuos de la población capturados inmediatamente antes del muestreo i , siendo su ecuación la siguiente:

$$M_i = \frac{m_i(R_i + 1)Z_i}{r_i + 1}$$

Donde:

m_i = Número de animales marcados y capturados en el periodo de muestreo i .

R_i = Número de individuos liberados de los n_i marcados ($i = 1, \dots, k-1$) (igual que n_i debido a que sólo se fotografía).

Z_i = Suma del número de individuos foto-recapturados antes y después de la muestra i , pero no en la muestra i ($i= 2, \dots, k-1$).

r_i = Suma del número de individuos fotografiados de los liberados en R_i que son foto-recapturados ($i=2, \dots, k-1$).

Dentro del modelo Jolly-Seber, Sutherland (2006) sugiere el cálculo de los límites del intervalo de confianza del 95% ($IC_{95\%}$). Calculando la transformación T_i de N_i y el error estándar S_{T_i} :

Así, el límite inferior y superior de T_i están dados por:

$$T_i = \log_e(N_i) + 0.5 \log_e \left[0.5 - \frac{3n_i}{8N_i} \right]$$

$$T_{iinf} = T_i - 1.65S_{T_i}; \quad W_{iinf} = e^{T_{iinf}}$$

$$T_{isup} = T_i + 2.45S_{T_i}; \quad W_{isup} = e^{T_{isup}}$$

$$S_{T_i} = \sqrt{\left(\frac{M_i - m_i + R_i + 1}{M_i + 1} \right) \left(\frac{1}{r_i + 1} - \frac{1}{R_i + 1} \right) + \frac{1}{m_i + 1} - \frac{1}{n_i + 1}}$$

Para ($IC_{95\%}$), los límites son:

$$L_{inf} = \frac{(4W_{iinf} + n_i)^2}{16W_{iinf}}; \quad L_{sup} = \frac{(4W_{isup} + n_i)^2}{16W_{isup}}$$

Asimismo, cabe aclarar que los años 2008, 2010, 2013, 2014 y 2017 fueron excluidos debido a que no se cumplieron los supuestos básicos del modelo aplicado, teniendo en la mayoría de los individuos menos de las 3 recapturas requeridas. Los datos del año 2005 fueron tomados como individuos nuevos.

Resulta importante tener presente que el cumplimiento de los supuestos del método Jolly-Seber está limitado a diversos factores. En primer lugar, la captura y recaptura precisa de individuos mediante fotografías, está sujeta a la calidad de la fotografía tomada en campo (nitidez, contraste, ángulo y proporción de aleta visible) y al carácter distintivo de las marcas

naturales (Friday et al., 2008; Rosel et al., 2011). Es decir, se presentan falsos positivos y falsos negativos en la foto-identificación (Friday et al., 2008). Los falsos positivos ocurren cuando diferentes individuos se identifican erróneamente como el mismo individuo, lo que subestima el valor de abundancia (Friday et al., 2008). Los falsos negativos ocurren cuando no se reconocen los individuos fotografiados previamente y se los considera como individuos nuevos, esto sobreestima el valor de abundancia (Friday et al., 2008). Por otro lado, las marcas naturales pueden perderse o cambiar su forma, este factor sesga negativamente el proceso captura-recaptura (Rosel et al., 2011). Otro punto a tener en cuenta es el cambio de comportamiento, donde los delfines pueden acercarse o alejarse como respuesta a la presencia de la embarcación, esto puede sesgar positiva o negativamente la estimación de abundancia (Rosel et al., 2011). Por lo tanto, tener en cuenta los sesgos a los que está sujeto el método a utilizar contribuye al análisis de los resultados y conclusiones de este estudio.

Determinación del hábitat de preferencia

Distribución de *T. truncatus*

Esta variable se tomó durante las navegaciones de foto-identificación pertinentes sólo al muestreo de este estudio (2020-2021), mediante las coordenadas GPS de cada avistamiento. Para visualizar el patrón de distribución espacial por temporadas, cada coordenada se representó en puntos usando el programa ArcGIS versión 10.5. Para visualizar posibles variaciones en el patrón de avistamientos de individuos de *T. truncatus* entre temporadas (Secas, Lluvias y Nortes) se construyeron tres Polígonos Mínimos Convexos (PMC). Este método calcula el área mínima de uso de hábitat conectando los puntos de avistamiento más externos (Harris et al., 1990). Luego se calculó el porcentaje de intersección de estas áreas entre sí usando la herramienta ArcGIS versión 10.5.

Variables ambientales y preferencia de *T. truncatus*

Para determinar el hábitat de preferencia de la población *T. truncatus* durante el periodo de muestreo (2020-2021), se tomaron como variables ambientales, de acuerdo con

lo sugerido por Baumgartner et al. (2001), Davis et al. (2002), Retureta-Delgado, (2012), De Rock et al. (2019), Castro et al. (2020), entre otros los siguientes parámetros:

- Temperatura de la superficie del mar, TSM (°C).
- Concentración de clorofila del tipo a, [Cl a] (mg/m³): indicador indirecto de productividad primaria.
- Profundidad del mar, P (m).

La TSM y la [Cl a] fueron obtenidos mediante percepción remota satelital de MODIS-Aqua, disponibles en la plataforma GIOVANNI EarthData, perteneciente a la NASA Ocean Color. Estas imágenes poseen una resolución temporal de 8 días y una resolución espacial de 4 km. para las bandas que representan [Cl a] y para la TSM. Estas imágenes se procesaron con el programa ArcGIS versión 10.5. En el caso de la profundidad, se usaron datos no publicados realizados por la Universidad Veracruzana con una resolución de 0.3 km. Esta variable también se procesó en el programa ArcGIS versión 10.5. Las variables ambientales provenientes de MODIS-Aqua se descargaron continuamente durante el periodo 2020-2021.

Una vez recopilada y procesada toda esta información, se comparó entre temporadas (Nortes, Secas y Lluvias) la media de: TSM, [Cl a] y P a la que fueron avistados los individuos de *T. truncatus* para visualizar si hay cambios en la preferencia de estas variables ambientales. Para ello, se tomaron 4 valores de pixeles cercanos a cada avistamiento para cada variable ambiental. Esta comparación se realizó mediante un análisis de la varianza ANOVA Kruskal Wallis debido a que los datos presentaron una distribución no paramétrica.

Actividades humanas

Para complementar la importancia de delimitar un área prioritaria para la conservación, se registró mediante la ubicación GPS, la presencia de actividades humanas durante las navegaciones teniendo en cuenta las categorías detalladas a continuación:

- Embarcación: lancha pesquera y barcos de carga.
- Redes de pesca: agallera, de arrastre o palangre.

Para visualizar el patrón de distribución espacial, cada coordenada se representó en puntos usando el programa ArcGIS versión 10.5. Asimismo, se calculó la frecuencia relativa

de presencia de embarcaciones y redes de pesca a partir del n encontrado para cada categoría. Para responder a nuestro objetivo específico sobre la posible superposición de la distribución de las actividades antrópicas con la presencia de individuos de *T. truncatus* se construyó, para cada variable, un Polígono Mínimo Convexo (PMC) y se calculó el porcentaje de intersección entre ellos. Cabe destacar que este análisis se realizó con el total de avistamientos de ambas variables en el periodo de muestreo 2020-2021. Cabe destacar que los polígonos se delimitaron con todos aquellos puntos cercanos a no más de 10 km, es decir, cuando los puntos se hallaron a más de dicha distancia se los consideró polígonos distintos.

Delimitación del área prioritaria

La delimitación de área prioritaria fue construida, para cada temporada, siguiendo los lineamientos propuestos por la IUCN Marine Mammal Protected Areas Task Force (2018). En el punto 6 de esta guía se detalla el procedimiento a seguir para delimitar áreas prioritarias IMMA (del inglés: Important Marine Mammals Areas). En este punto se prioriza la evidencia basada en la abundancia de los animales (entre otros criterios) y para respaldar esta información, el factor secundario: los registros de uso del hábitat. Así, los pasos metodológicos detallados en las secciones anteriores responden a esta guía y sus resultados fueron utilizados para delimitar el área prioritaria en el área de estudio. Esta guía propone diferentes formas (tipos A y B) de definir los límites. Siguiendo con la guía de IUCN-IMMA, se usó como método principal de delimitación los siguientes pasos:

➤ Evidencia:

Tipo A: observaciones puntuales.

Tipo B: predicciones de probabilidad de uso de hábitat modeladas (programa MaxEnt, modelo aditivo generalizado) tomando como variables ambientales la TSM y [Cl a].

➤ Límite:

Tipo A: uso de un contorno batimétrico apropiado para abarcar la mayoría de las observaciones.

Tipo B: selección de un umbral de probabilidad apropiado, que se recorta para excluir áreas periféricas innecesarias.

- Buffer: delinear los límites del área prioritaria alrededor de la evidencia de apoyo para garantizar áreas sólidas minimizando la complejidad de la forma resultante garantizando así un uso adecuado.

En el Cuadro 1, se muestran las variables tenidas en cuenta según el tipo de mapa a construir. Cabe destacar que los mapas del Tipo A se realizaron para cada temporada, mientras que para el Tipo B se realizó sólo un mapa (anual) y se lo utilizó para reforzar la construcción final del área prioritaria.

Cuadro 1. Variables para delimitar el área prioritaria		
Puntos prioritarios	Tipo A	Tipo B
Evidencia	Puntos de avistamiento	Predicción de probabilidad de TSM Y [CI σ]
Límite	Contorno batimétrico (resolución espacial de 0.3 km)	Umbral de probabilidad (MaxEnt)
Buffer	Mínimo 4 km	Resolución espacial de imágenes ráster (4 km)

Para determinar el límite mediante el umbral de probabilidad se usó el programa MaxEnt versión 3.4.0. Este modelado evalúa en primer lugar la tasa de omisión y el área pronosticada en función del umbral acumulativo, es decir, la relación omisión (falso negativo) – comisión (falso positivo, sobre-predicción). La situación ideal se da cuando la tasa de omisión (curva azul) se comporta como la tasa de omisión predicha (recta negra), lo que indicaría mayor rendimiento del modelo.

El segundo resultado que se obtiene de MaxEnt es la curva operacional ROC (del inglés Receiver Operating Characteristic), la cual describe la tasa de identificación correcta de presencia (Sensibilidad= fracción de verdaderos positivos en eje y) vs. la tasa de falsos positivos (especificidad= fracción de verdaderos negativos en el eje x). El área bajo la curva de sensibilidad da origen al estadístico AUC (del inglés Area Under the Curve), el cual de manera aleatoria toma valores de 0.5. Así, un muy buen clasificador tiene un área muy cercana a 1. MaxEnt evalúa los aciertos y fracasos que ha conseguido en el modelo dando valores de AUC que indicará cuán preciso es nuestro modelo (mostrará valores entre 0 y 1). Por otro lado, MaxEnt realiza una prueba de Jackknife de Importancia de variables. El valor de ganancia indica cuán ajustado está el modelo con los datos tomados en los muestreos.

Finalmente, el modelado en MaxEnt da por resultado una imagen ráster que representa la distribución potencial de la población de *T. truncatus*, dando lugar a la delimitación del área prioritaria del Tipo B. Cabe destacar que cada valor de pixel corresponde a la probabilidad de presencia de delfines (que va de 0 a 1) en función de las condiciones ambientales.

5. Resultados

Estimación de la abundancia poblacional

Navegaciones de foto-identificación

En total se realizaron ocho navegaciones con una duración aproximada de 36 horas. En el periodo de muestreo actual se lograron foto-identificar 79 individuos en la región Tamiahua-Tuxpan, habiendo tomado un total de 507 fotografías. Asimismo, se calculó la eficiencia fotográfica, dando por resultado 63.46%. El tamaño promedio de grupos avistados para la temporada de Secas fue de 7.2, para Lluvias 2.6 y para Nortes 6.2.

De acuerdo con la base de datos del Laboratorio de Mamíferos Marinos desde 2005, en la curva de acumulación de individuos de Darling-Morowitz se aprecia que ya se tiene identificados a la gran mayoría de los organismos del área de estudio, ya que la curva alcanza la asíntota en un valor aproximado de 430 individuos (Fig. 5).

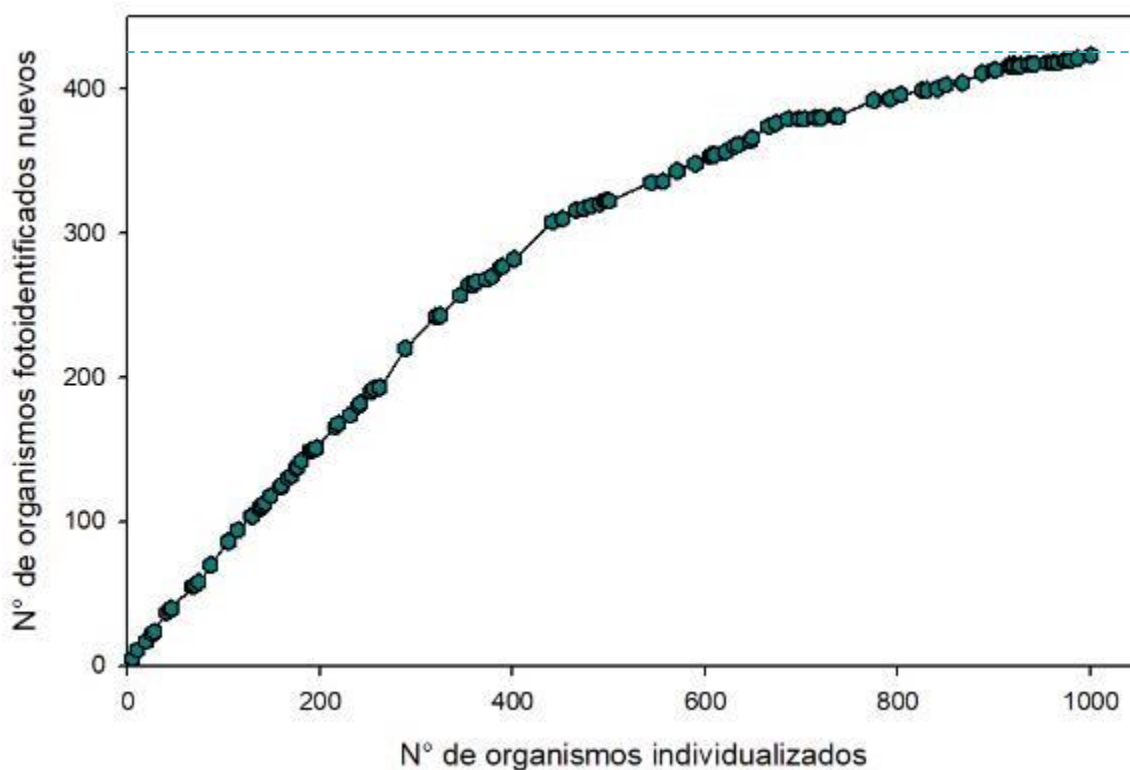


Figura 5. Curva Darling-Morowitz. Se muestra el número de organismos individualizados (marcados) por medio de la foto identificación vs. el número de organismos nuevos (capturas).

El método de curva de acumulación de individuos nótese que la curva de acumulación logra aplanarse dentro de los 400 y 450 individuos, un rango similar a la curva Darling-Morowitz (Figura 6).

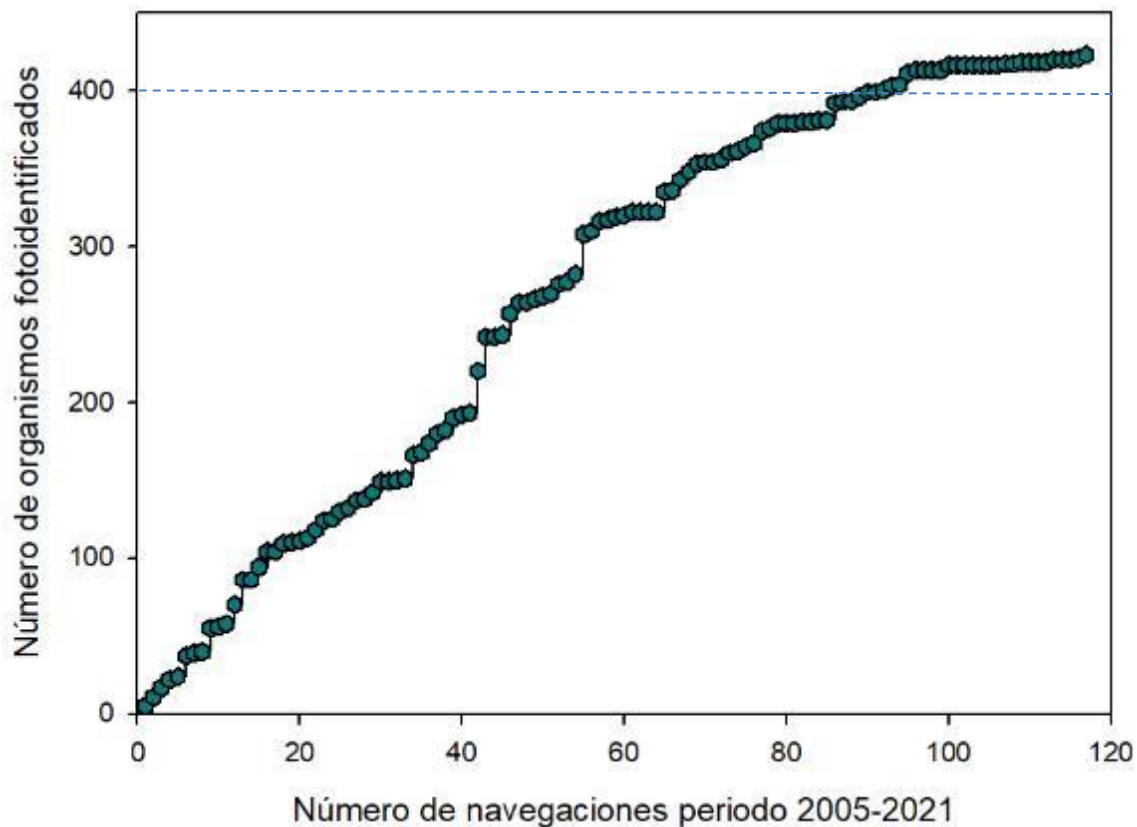


Figura 6. Curva de acumulación de individuos. Se muestra el número de individualizados vs. el número de navegaciones realizadas.

Análisis de datos

Para las navegaciones durante el periodo 2005-2021, aplicando el análisis de la varianza no paramétrico Kruskal-Wallis, se obtuvo por resultado que el esfuerzo de muestreo no varía significativamente entre años en la foto-individualización (Cuadro 2).

Cuadro 2. Análisis ANOVA Kruskal-Wallis para el esfuerzo de muestreo.						
Año de muestreo	Total organismos individualizados	Número de navegaciones	Media	D.E.	H	p-valor
2005	62	9	6.33	5.36	7.28	0.1360
2006	89	14	5.07	4.45		
2007	90	16	4.81	4.96		
2008	72	6	9.83	11.46		
2010	51	7	6.29	5.88		
2011	124	15	7.93	10.53		
2013	32	3	10.00	7.00		
2014	15	3	4.33	3.06		
2016	108	12	8.83	4.39		
2017	52	3	16.00	15.00		
2018	95	8	11.63	5.10		
2020	79	8	4.20	4.29		

Nota: Media y D.E. (desvío estándar) corresponden al Número de navegaciones (InfoStat-Statistical Software versión 0.1).

El cálculo de la abundancia anual en poblaciones abiertas se muestra en el Cuadro 3. Se puede observar que la abundancia mayor se da para los años 2007 y 2011.

Cuadro 3. Abundancia poblacional anual (Jolly-Seber).			
Año de muestreo	Abundancia N	LI 95%	LS 95%
2005-2006	294	178.77	658.88
2007	849.25	531.13	1313.49
2011	775	489.44	1272.86
2016	298.72	284.52	313.85
2018	228.9	186.98	285.88
2020-2021	306	162.97	607.33

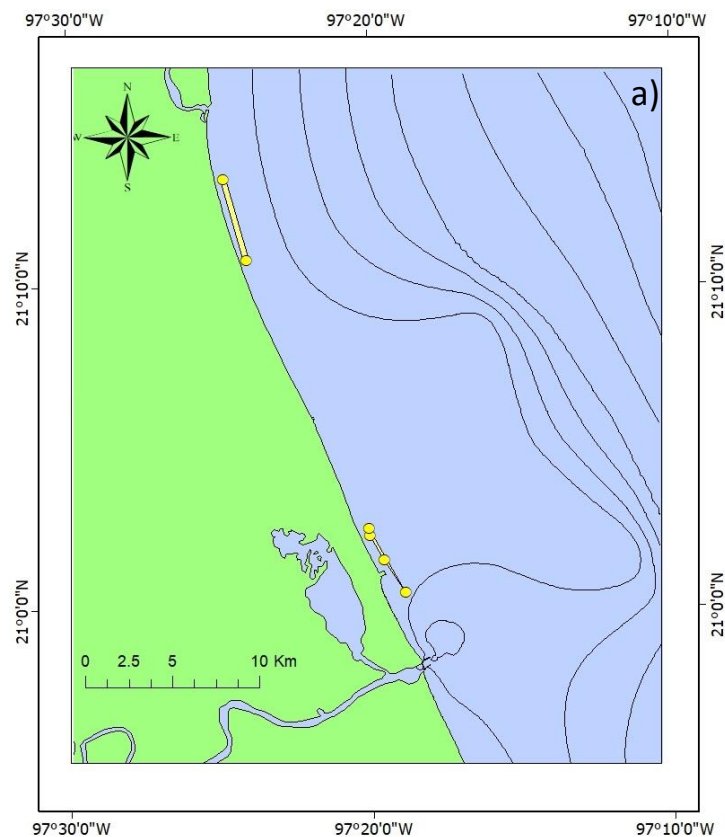
Nota: Los años representados son los que cumplieron con los supuestos que requiere este modelo y se excluyó a los años que no los cumplieran. LI es el límite inferior y LS es el límite superior, ambos conforman el intervalo de confianza al 95%.

Determinación del hábitat de preferencia

Distribución de *T. truncatus*

Los resultados respecto a la distribución y área de uso de mínimo de hábitat de *T. truncatus* en las temporadas de Secas, Lluvias y Nortes (periodo 2020-2021) se muestran en la Figura 7. En total se recolectaron 17 avistamientos (n=6 en Secas, n=5 en Lluvias y n= 6 en Nortes). Durante la temporada de Secas (Figura 7a) y Lluvias (Figura 7b) se visualizan dos polígonos mínimos convexos (PMC), uno cercano a la desembocadura de la laguna de Tamiahua y el otro cercano al río Tuxpan y la desembocadura de la Termoeléctrica “Adolfo López Mateos”. Mientras que en la temporada de Nortes (Figura 7c), la distribución de *T. truncatus* es más uniforme a lo largo de la costa.

En cuanto al cálculo de los PMC mostrados en la Figura 7, las áreas mínimas de uso de hábitat fueron de 1.9 km² para la temporada de Secas, 5.8 km² para Lluvias y 18.4 km² para Nortes. El área de intersección para las temporadas de Secas y Lluvias fue de 0.15 Km² (1.96%); sin intersección entre Lluvias y Nortes; y para Nortes y Secas la intersección fue de 0.20 Km² (0.98%).



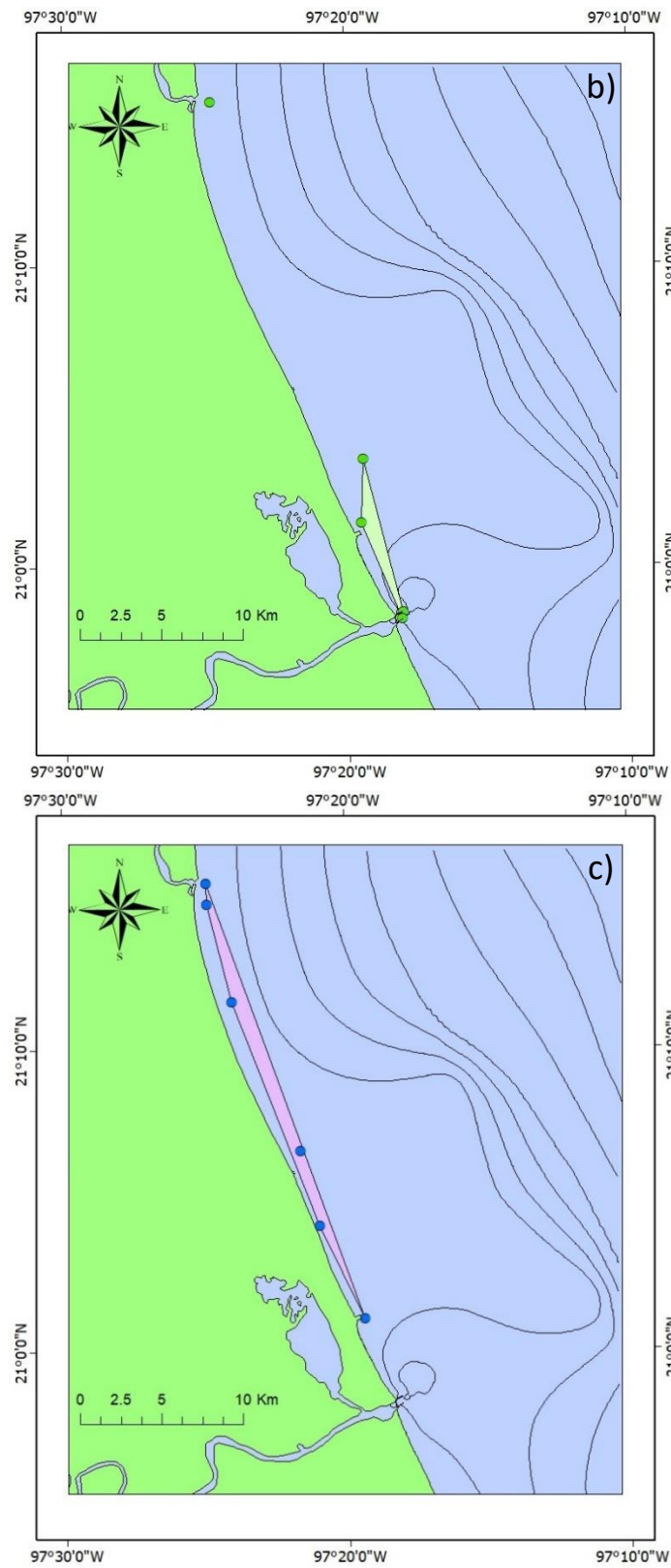


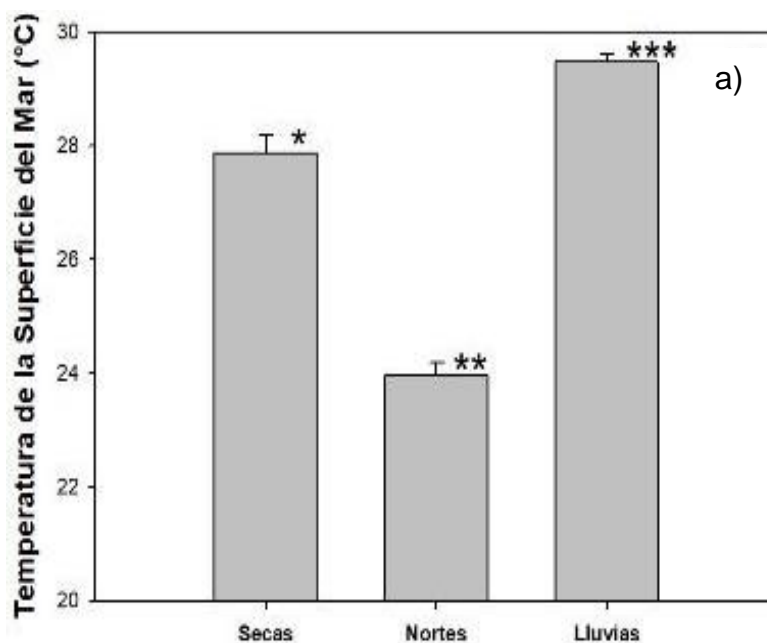
Figura 7. Área mínima de uso de hábitat por temporadas. Se muestra la distribución de grupos de individuos de *T. truncatus* (puntos de avistamiento) y los polígonos mínimos convexos (PMC) en las temporadas de a) Secas, b) Lluvias y c) Nortes.

VARIABLES AMBIENTALES Y PREFERENCIA DE *T. truncatus*

En cuanto al hábitat de preferencia de *T. truncatus*, la comparación entre temporadas de la media de: TSM, [Cl a] y P a la que fueron avistados los individuos se muestran en la Figura 8. La media de la TSM (Figura 8a) resultó ser mayor en la temporada de Lluvias (29.46°C), seguida por la temporada de Secas (27.8°C) y la menor durante Nortes (23.9°C). En cuanto a la media en la [Cl a] como indicador indirecto de productividad primaria (Figura 8b), el mayor valor correspondió a la temporada de Nortes (1.86 mg/m³), seguido por Secas (1.40 mg/m³) y el menor valor se dio en la temporada de Lluvias (0.83 mg/m³). Por último, la profundidad (Figura 8c) resultó mayor (p-valor < 0.05) durante la temporada de Lluvias (4.5m), sin diferencias significativas entre Nortes (1.48m) y Secas (1.3m). Los resultados del análisis estadístico ANOVA Kruskal Wallis se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. ANOVA Kruskal Wallis para las variables ambientales.									
	Temperatura de la superficie del mar (TSM)			Clorofila [Cl a]			Profundidad		
		Media	Desvío Estándar		Media	Desvío Estándar		Media	Desvío Estándar
Secas	A	27.88	0.66	A	1.41	0.40	A	1.36	0.57
Nortes	B	23.97	0.46	B	1.86	0.25	A	1.49	1.33
Lluvias	C	29.47	0.31	C	0.83	0.50	B	4.52	3.71

Nota: Medias con letra común no son estadísticamente significativas p-valor=0.05. En las gráficas cada letra está representada por: A (*), B (**), y C (***)



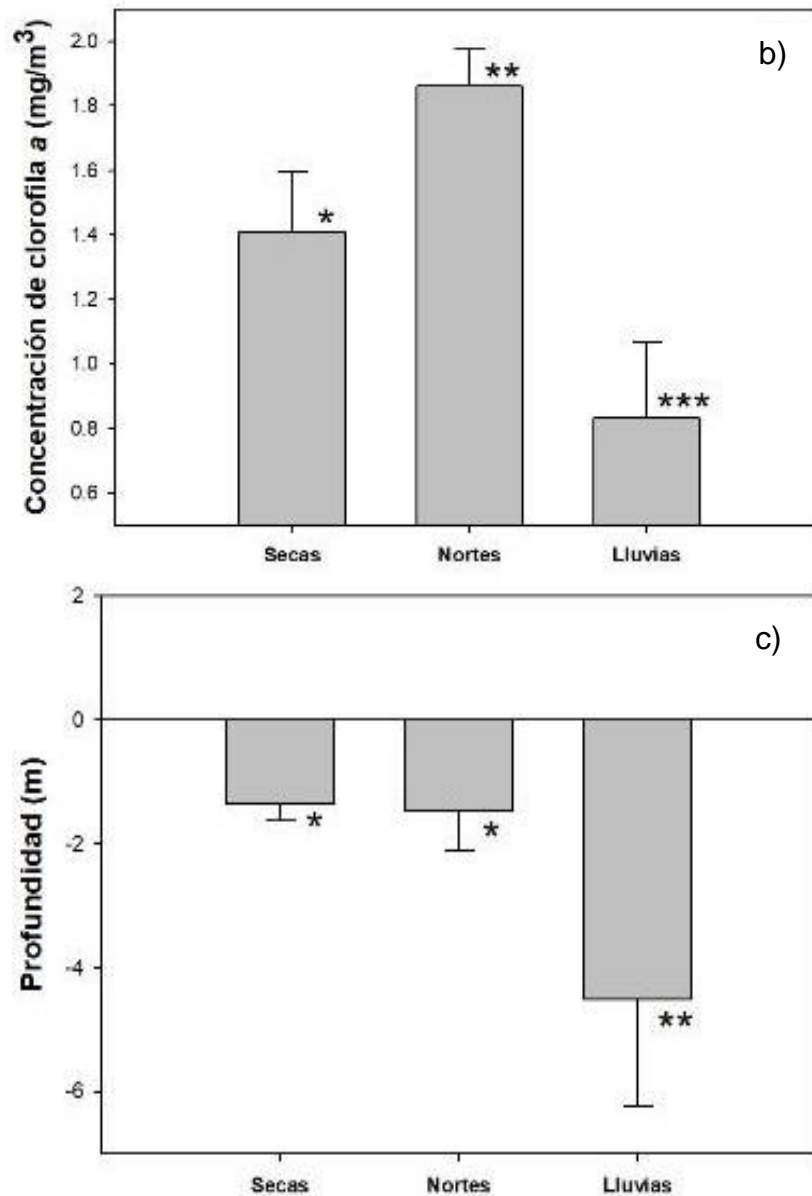


Figura 8. Variaciones en el hábitat de preferencia. Se muestran las comparaciones entre temporadas en las medias de variables ambientales a) TSM, b) [Cl a] y c) P a las que se avistaron individuos de la población de *T. truncatus* en el área de estudio. Las barras con igual número de asteriscos representan medias que no son estadísticamente distintas con p-valor=0.05 (n=24 para cada variable en Secas; n=20 en Lluvias; n=24 en Nortes).

Actividades humanas

Durante las navegaciones realizadas en el periodo 2020-2021 se registraron 20 avistamientos de actividades antrópicas. Notoriamente, la categoría “embarcaciones” resultó

ser la más frecuente con mayor número de lanchas tipo pesqueras. Aunque los barcos de carga también fueron frecuentes, sobre todo en las zonas de la desembocadura del río Tuxpan. La categoría redes de pesca fueron menos frecuentes, sin embargo, su distribución no se asoció del todo a las desembocaduras antes mencionadas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Registro de actividades humanas			
Categoría	Tipo	Frecuencia relativa	N
Redes de pesca	Agallera	100%	11
Embarcaciones Contenido	Lancha pesquera	57.7%	15
	Barcos de carga	42.3%	11

Nota: la frecuencia relativa se calculó tomando cada categoría por separado, con un total n=37.

El área que abarca los avistamientos de toninas durante todo el periodo de muestreo fue de 25.8 km², mientras que el área de los avistamientos de actividades antrópicas fue de 11.37 km² (Figura 9). El cálculo del área de intersección entre ellos dio por resultado que ambas variables se superponen en un total de 4.45 km² (13.6%). Los polígonos se delimitaron con todos aquellos puntos cercanos a no más de 10 km, es decir, cuando los puntos se hallaron a más de dicha distancia se los consideró polígonos distintos. Cabe destacar que el polígono central de las actividades antrópicas encierra puntos de avistamientos de redes de pesca del tipo agallera.

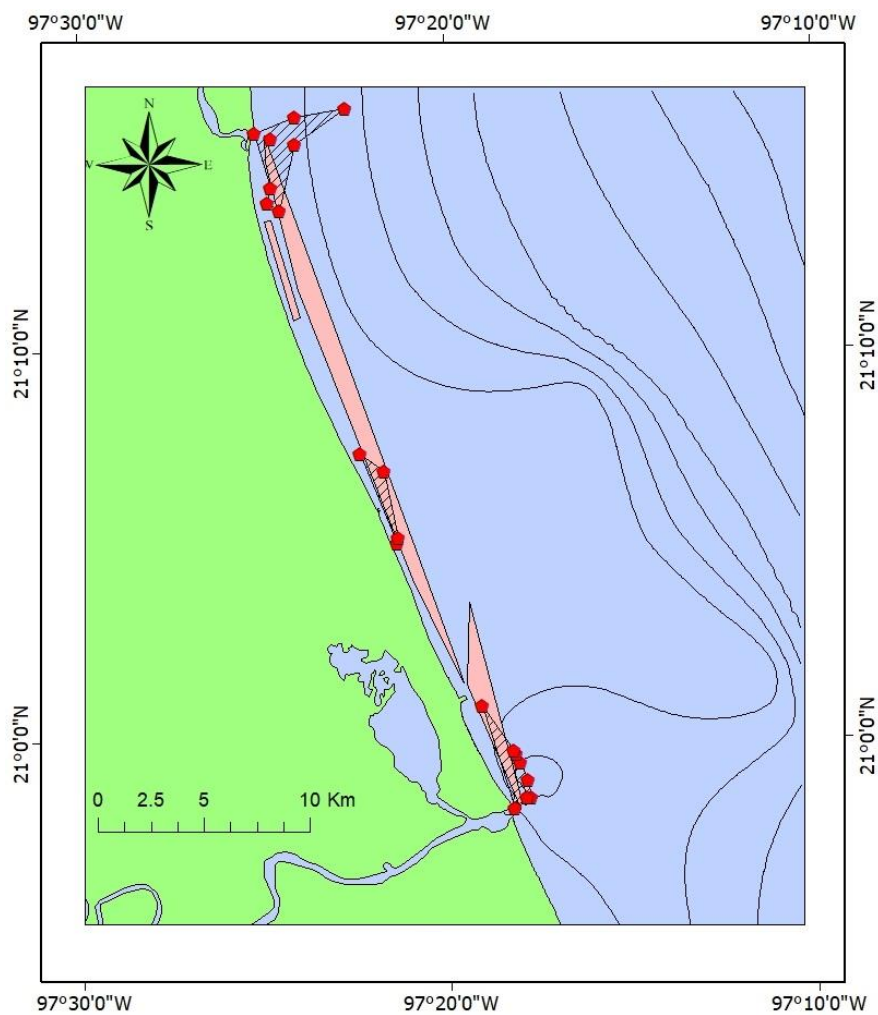
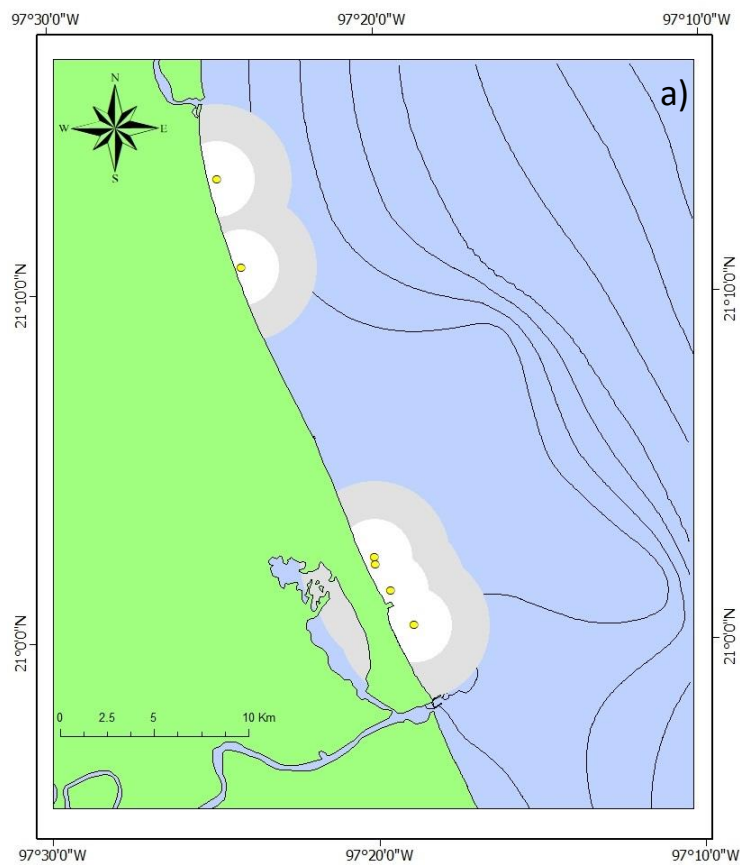


Figura 9. Actividades humanas y su relación con *T. truncatus*. Se muestran los PMC de las actividades antrópicas (líneas negras) y de los puntos de avistamiento de *T. truncatus* (rosa uniforme). Los pentágonos rojos representan los puntos de avistamientos de presencia de actividades antrópicas.

Delimitación del área prioritaria

La Figura 10 muestra la delimitación por temporadas del área prioritaria del Tipo A. Durante la temporada de Secas y Lluvias (Figura 10 a y b), se puede visualizar un agrupamiento de delfines en las áreas cercanas a la desembocadura de la laguna de Tamiahua, la termoeléctrica y el río Tuxpan, mientras que en la temporada de Nortes (Figura 10c) la distribución es más homogénea a lo largo de la costa del área de estudio.



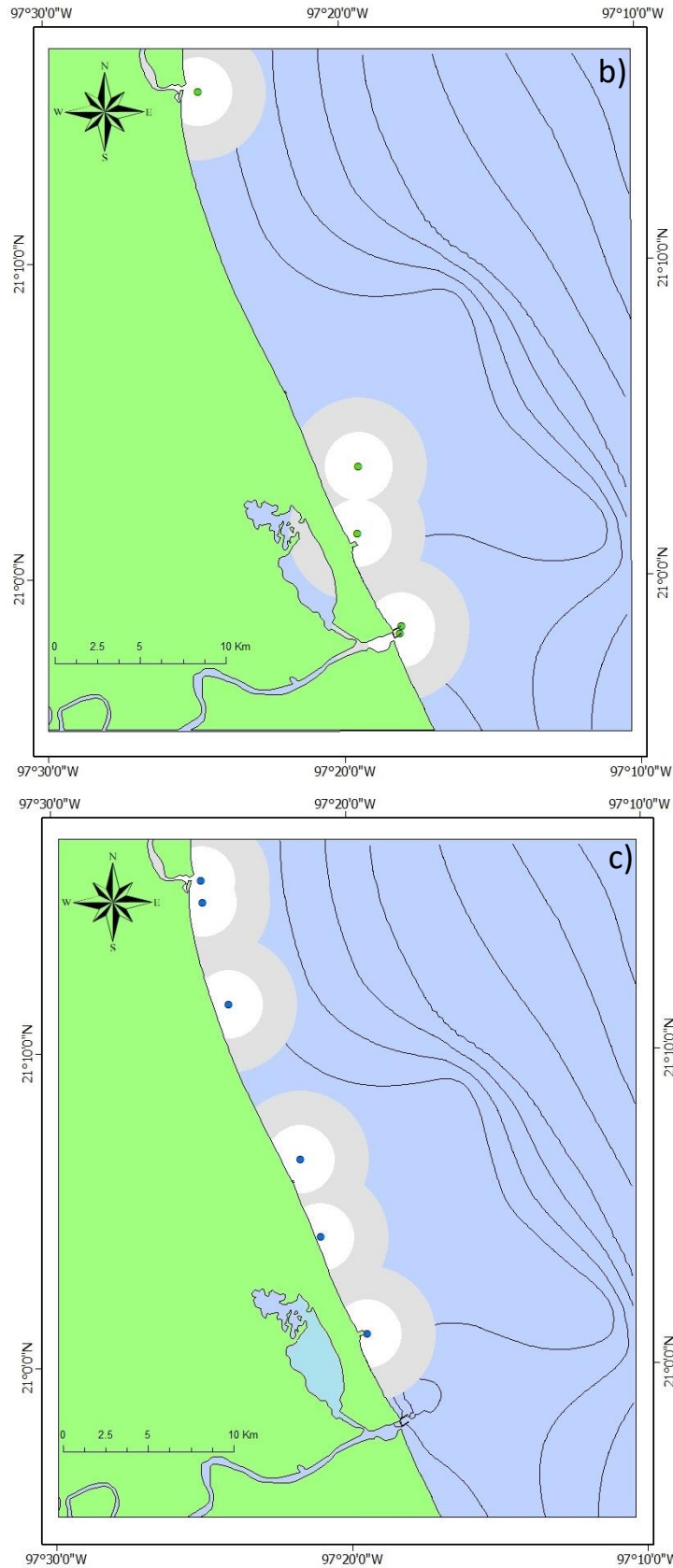


Figura 10. Delimitación de área prioritaria del Tipo A para *T. truncatus*. Se muestran la delimitación del área prioritaria para las temporadas de a) Secas, b) Lluvias y c) Nortes de la población costera de *T. truncatus*. El límite del área blanco representa un radio de 2 km, mientras que el gris un radio de 4 km.

La Figura 11 muestra la tasa de omisión y el área pronosticada en función del umbral acumulativo para el área prioritaria Tipo B, es decir, la relación omisión (falso negativo) – comisión (falso positivo, sobre-predicción).

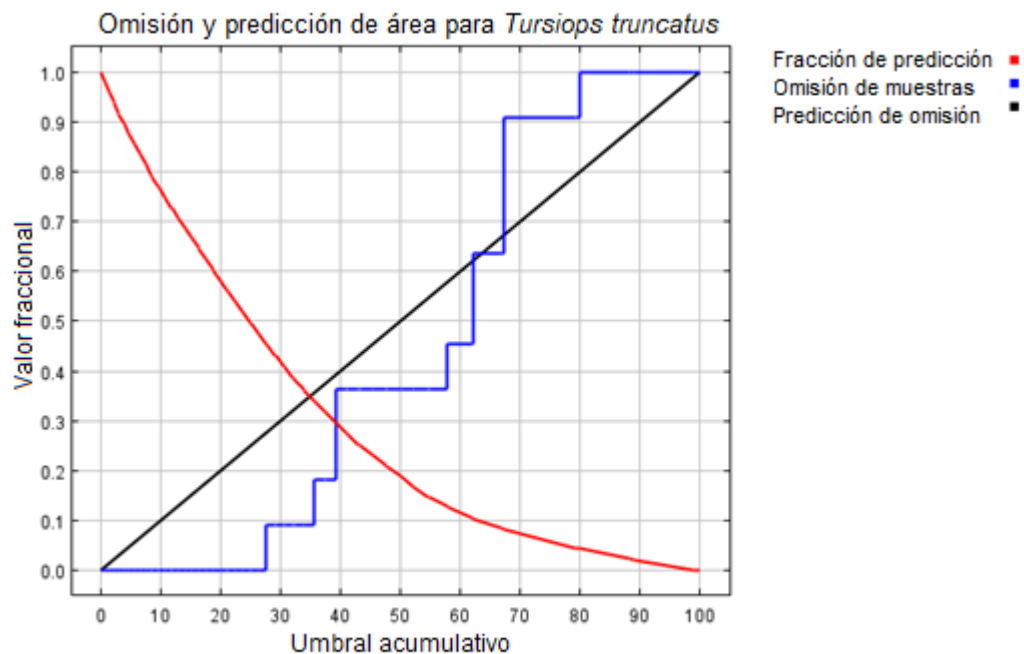


Figura 11. Tasa de omisión de MaxEnt. Se muestran las omisiones calculadas (curva azul) de los puntos cargados en el modelo y el área potencial o predicha como favorable (curva negra). La curva roja representa las muestras aleatorias de fracciones de los puntos de fondo del área de estudio incluidos en el área predicha, usando diferentes umbrales acumulativos (eje x).

La curva operacional ROC se muestra en la Figura 12, mostrando el ajuste del modelo con un AUC de 0.823.

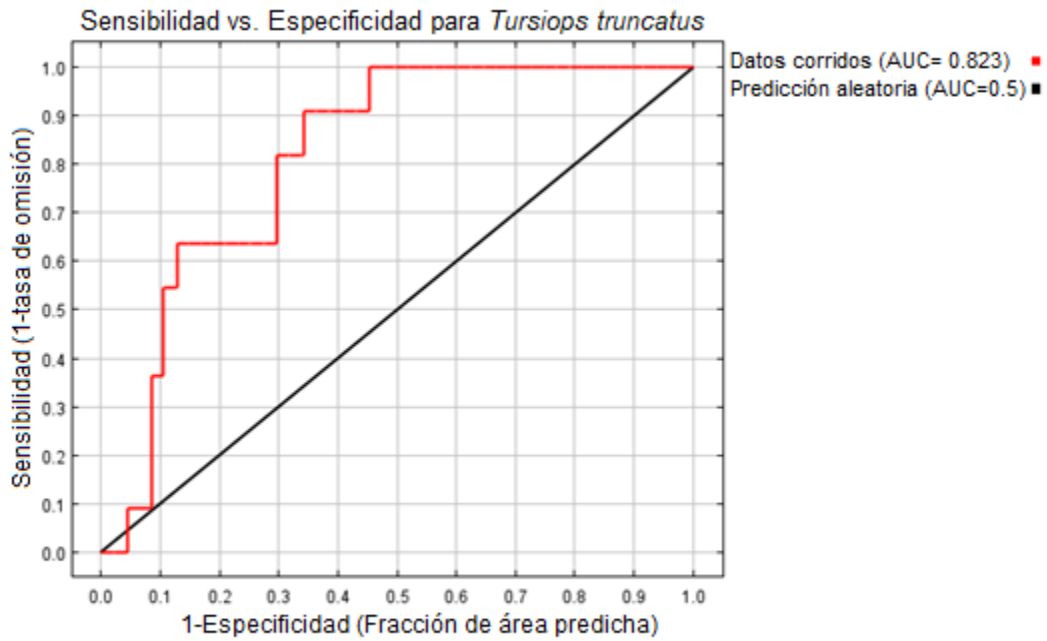


Figura 12. Curva operacional ROC. Se muestra el ajuste del modelo, así como el área bajo la curva ROC (curva roja) denominada como AUC. La curva negra muestra el clasificador predictor aleatorio AUC con valores a fracción de 0.5.

La prueba de Jackknife de Importancia de variables (Figura 13) muestra que la variable ambiental con mayor valor de ganancia cuando se usa aisladamente es la TSM, que por lo tanto parece tener la información más útil por sí misma. La TSM también es la variable ambiental que más disminuye el ajuste del modelo cuando se omite.



Figura 13. Prueba de Jackknife de importancia de variables. Se muestran los valores de ganancia para cada variable ambiental en MaxEnt.

La Figura 14 muestra el resultado final del modelado en MaxEnt, es decir, la imagen ráster que representa la distribución potencial de la población de *T. truncatus* dando lugar a la delimitación del área prioritaria del Tipo B.

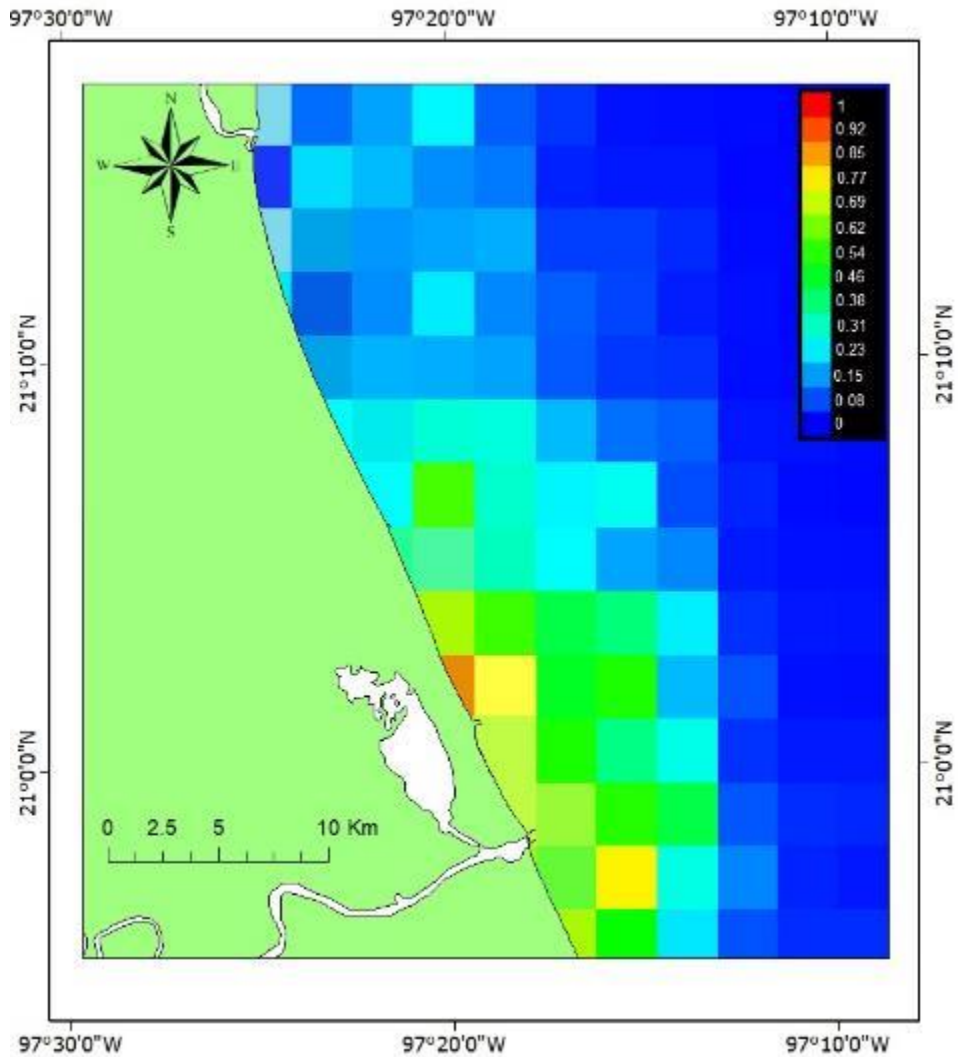


Figura 14. Delimitación del área prioritaria del Tipo B. Se muestra la distribución potencial de *T. truncatus*, donde la leyenda de colores indica el rango de probabilidad de presencia de individuos que va de 0 a 1. Los colores que tienden al rojo muestran áreas con mejores condiciones pronosticadas.

6. Discusión

Estimación de la abundancia poblacional

El estudio de parámetros poblacionales en especies silvestres está sujeto a condiciones que no pueden ser controladas. Resulta imposible contabilizar a todos los individuos de una población, lo que implica tomar una muestra suficientemente representativa y aplicar modelos matemáticos que logren estimar el tamaño de la población real estudiada (Sutherland, 2006; Martella et al., 2012). En este sentido, el esfuerzo de muestreo y la eficiencia de foto-identificación nos ayudan a conocer cuán confiables son los resultados obtenidos. La eficiencia en la foto-identificación de este estudio (63.46%) resultó ser mayor a la obtenida por Valdés-Arellanes et al. (2011) en la misma zona de estudio (53%). Esto puede deberse a las ventajas que ofrece FinBase a la hora de identificar individuos, ya que acelera y automatiza la comparación asistida y la catalogación de imágenes de la aleta dorsal, reduciendo el tiempo y el esfuerzo requeridos por parte del investigador y elimina el error cuando se administra manualmente los archivos de imagen (Adams et al., 2006).

Por otro lado, los resultados del modelo de Darling-Morowitz (Figura 5) y el método de la curva de acumulación de individuos (Figura 6), contribuyen con información clave para conocer si se ha fotografiado la totalidad de organismos que componen la población. En este estudio ambas curvas llegan a su asíntota en un rango entre los 400-450 individuos aproximadamente, lo que indicaría que el tamaño poblacional de *T. truncatus* en las costas de Tuxpan y Tamiahua está en ese rango. En relación a esto, Valdés-Arellanes et al. (2011) reportaron un incremento constante de la curva de Darling-Morowitz sin llegar a la asíntota, contabilizando cerca de 200 individuos. Asimismo, Ojeda-Sánchez (2020) tampoco reporta tendencia a la asíntota de la curva de acumulación de individuos, habiendo muestreado cerca de 120 individuos. No obstante, los resultados obtenidos por Vázquez-Castán et al. (2014) y Serrano et al. (2017) son similares a los obtenidos en este estudio, ya que ambos trabajos individualizaron 452 individuos en la misma zona de estudio. Por lo tanto, este estudio logra encontrar la asíntota de ambas curvas sobre el tamaño poblacional de *T. truncatus* en la zona Tuxpan-Tamiahua, visualizando resultados cercanos entre sí. Esto puede deberse al amplio rango temporal del proceso de foto-identificación que se tuvo en cuenta en este análisis y la contribución en campo del periodo de muestreo 2020-2021.

Con relación a la estimación de la abundancia anual poblacional usando el modelo Jolly-Seber, en el Cuadro 2 se puede ver que los años 2007 y 2011 dieron los valores más altos (entre 770-850 individuos) con límites inferiores y superiores bastante amplios. Esto es un indicador de la gran dispersión de datos en estos años. Esto puede deberse a que en 2007 y 2011 se realizaron un mayor número de salidas al campo y quizás el esfuerzo de muestreo en horas es mayor. Es importante resaltar que debido a que la base de datos sobre horas de navegación está fragmentada, no se pudo ver el efecto de las horas de muestreo sobre la foto-individualización y se tomó el número de navegaciones como esfuerzo de muestreo. Es decir, quizás las horas de muestreo pueden estar influyendo en la identificación de individuos. A pesar de esto, el resto de los años tienen valores de abundancia relativamente similares teniendo en cuenta sus límites. Actualmente, en el periodo de muestreo 2020-2021 de este estudio, la abundancia de toninas según el modelo Jolly-Seber es de 306 individuos aproximadamente. Este resultado es similar a la abundancia de 302 ± 113 calculado por Valdés-Arellanes et al. (2011) durante los años 2005 a 2007, utilizando también el modelo Jolly-Seber. Asimismo, cuando se utiliza este método en otros sitios costeros, se obtienen tamaños poblacionales entre los 100 y 500 individuos (Silva et al., 2009; López et al., 2013; Vermeulen y Bräger, 2015; Papale et al., 2016; Morteo et al., 2017). Lo que sugiere que los resultados de este estudio están dentro de rangos frecuentemente reportados para esta especie en zonas costeras. Asimismo, nuestro estudio reporta valores similares a los encontrados con la metodología de muestreo a distancia (Galindo et al., 2009). No obstante, puede notarse una gran diferencia en la abundancia calculada con el muestreo a distancia por Vázquez-Castán et al., (2014), ya que ésta es significativamente mayor: 1,639 delfines en Tamiahua y 1,032 en Tuxpan con un coeficiente de variación de 10.37%. En relación a esto, estos autores atribuyen las diferencias en abundancias con el esfuerzo de muestreo y no con las metodologías.

Es importante tener en cuenta que no todos los supuestos propuestos por el modelo Jolly-Seber para estimar parámetros poblacionales pueden cumplirse en campo (Sutherland, 2006). Es decir, las marcas pueden perderse, la calidad de las fotografías puede no ser óptima, los cambios comportamentales pueden afectar la toma de datos, hay heterogeneidad en la probabilidad de captura, entre otros factores; lo que puede ocasionar que se subestime el valor real de la abundancia poblacional (Rosel et al., 2011). En este sentido, el método Jolly-Seber,

que está diseñado para estimar la abundancia de poblaciones abiertas, mostró desventajas en este estudio. Una de ellas es que se excluyeron algunos años que no contenían las suficientes recapturas (mínimo de tres), ocasionando resultados discontinuos. No obstante, los años que se incluyeron en este estudio tampoco cumplieron todos los supuestos, ya que estuvieron condicionados a las adversidades del trabajo en campo (cambios comportamentales, pérdidas de marcas, heterogeneidad de probabilidad de captura, variación en la calidad de la fotografía, etc.). Así, de estas desventajas se puede interpretar que la estimación anual de abundancia calculada en este estudio puede estar subestimada.

A pesar de estas desventajas, la abundancia anual reportada en los resultados de este estudio responde a las tendencias reportadas por otros artículos antes mencionados, mostrando que la abundancia poblacional anual de *T. truncatus* en las costas de Tuxpan y Tamiahua se ha mantenido relativamente constante a través del tiempo. Aunque, debido a la subestimación de este método, se podría pensar que la abundancia tiene valores más altos, haciéndose más precisa hacia las asíntotas de las curvas de acumulación y Darling-Morowitz. Así, los resultados obtenidos presentan tendencias que podrían estar validando la hipótesis de trabajo. Finalmente, este estudio logra afirmar que el área estudiada resulta crucial para el desempeño biológico de esta población.

Determinación del hábitat de preferencia

La compleja biología que presentan los odontocetos implica que, a la hora de explicar patrones observables se deban abordar de manera integrativa; teniendo en cuenta sus rasgos biológicos característicos (Würsig, 2019). Las estructuras sociales y los comportamientos de agrupación de los odontocetos son rasgos biológicos que influyen sobre la reproducción, la supervivencia de las crías, la depredación y la eficiencia en la búsqueda de alimento (Würsig, 2019). A su vez, estos rasgos están condicionados por los costos y beneficios de la vida en grupo (Davies et al., 2013). Los diferentes escenarios ambientales donde los recursos varían tanto espacial como temporalmente modifican este balance costo-beneficio (Rubenstein y Alcock, 2019). En relación a esto, los odontocetos presentan un patrón de agrupamiento flexible conocido como sociedades del tipo fisión-fusión, donde la composición social, el tiempo de cohesión y el tamaño de grupo pueden variar en el tiempo (Smith et al., 2008;

Davies et al., 2013; Rubenstein y Alcock, 2019; Würsig, 2019). Por lo tanto, para explicar los patrones de distribución y preferencia de hábitat, es crucial incluir rasgos conductuales y de estructura social que se hayan reportado en estudios previos.

En líneas generales, en este estudio se observaron grupos de delfines cercanos a la línea de costa y asociados a las desembocaduras de ríos y lagunas del norte de Veracruz, lo que coincide con lo reportado por Heckel (1992), Galindo et al. (2009), Vázquez-Cástan (2010), Martínez-Serrano et al. (2011), Retureta-Delgado (2012), Peña-Mendoza (2014), Serrano et al. (2017), Ojeda-Sánchez (2020). Puntualmente, en el área estudiada, los avistamientos se dieron dentro de los 2.5 km. de distancia a la costa, lo que coincide con lo encontrado por Martínez-Serrano (2011), Retureta-Delgado (2012) y Peña-Mendoza (2014); y menor a lo reportado por Ojeda-Sánchez (2020). Cabe destacar que la Termoeléctrica es un sitio antrópico que presenta cambios de temperatura y escurrimientos de agua dulce, lo que supone mayor disponibilidad de alimentos para los delfines (Martínez-Serrano, 2011). Esto podría explicar su presencia en este sitio, sin embargo, no hay estudios que clarifiquen esta relación con detalle.

Por otro lado, el tamaño de grupo, a modo general, también es similar a lo reportado a nivel local por los autores antes mencionados y responde a la tendencia de que el tamaño de grupo disminuye con la cercanía a la costa (Reynolds et al., 2000; Campbell et al., 2002; Martínez-Serrano et al., 2011; Serrano et al., 2017; Würsig, 2019). Este marcado patrón de distribución y de tamaño de grupo es explicado por diversos autores argumentando que las desembocaduras de ríos y lagunas son zonas de alta productividad primaria, lo que asegura la disponibilidad de alimento para los grupos de delfines en estas áreas (Markowitz et al., 2004; Lusseau y Wing, 2006; Retureta-Delgado, 2012; Eierman y Connor, 2014; Peña-Mendoza, 2014; Serrano et al, 2017; Ojeda-Sánchez, 2020; entre otros). Aunado a esto, en la zona norte de Veracruz, la distribución de presas está asociada con comportamientos de alimentación y sociabilidad, ambos rasgos son los más frecuentes, seguidos por descanso y desplazamiento (Retureta-Delgado, 2012; Ojeda-Sánchez, 2020).

Distribución y hábitat de preferencia entre temporadas

Durante la temporada de Secas, los individuos *T. truncatus* se concentran en las desembocaduras de la laguna de Tamiahua, la Termoeléctrica y el río Tuxpan; presentando el menor valor de uso mínimo de hábitat (PMC de 1.9 Km², Figura 7a). Asimismo, el hábitat de preferencia reportado en esta temporada se da a TSM relativamente altas (media de 27.8°C), productividad primaria intermedia (media de [Cl *a*] de 1.40 mg/m³) y a bajas profundidades (media de 1.3 m). Este patrón de distribución y hábitat de preferencia concuerda con el modelo explicado por Martínez-Serrano (2011) (Figura 15), quien también reporta agrupamiento de delfines en las desembocaduras. En esta temporada, la descarga de los ríos es menor (Peña-Mendoza, 2014); sin embargo, los vientos dominantes tienden a alinearse en dirección este-oeste, generando corrientes superficiales casi perpendiculares a la costa, lo que produce una divergencia. Esta corriente se dirige hacia el norte en la zona de estudio y da origen a surgencias muy cercanas a la costa (Ortiz-Lozano et al., 2010). Esto explicaría que, a pesar de la baja descarga de los ríos, la productividad primaria a la que se avistan los grupos de delfines sea intermedia (respecto de las otras temporadas). Y explicaría también la cercanía a la desembocadura de ríos y lagunas, correspondida con las bajas profundidades reportadas en este estudio. En cuanto a los rasgos comportamentales, en esta temporada, ocurren principalmente desplazamientos, seguido por alimentación y poca frecuencia en socialización (Ojeda-Sánchez, 2020).

Así, aunque en esta temporada la disponibilidad de alimento es intermedio, ésta podría variar espacialmente concentrándose en las desembocaduras de ríos y lagunas. Esto implicaría mayor desplazamiento de los individuos y mayor inversión de tiempo en alimentación, reduciendo la socialización.

Durante la temporada de Lluvias, la distribución de *T. truncatus* presenta un patrón similar al de la temporada de Secas, es decir, un agrupamiento de delfines en las desembocaduras antes descritas. No obstante, el uso mínimo de hábitat es mayor al reportado en la temporada de Secas (PMC de 5.8 Km², Figura 7b). En este periodo, el hábitat de preferencia reporta la TSM más alta (media de 29.46°C), el menor valor de productividad primaria (media [Cl *a*] de 0.83 mg/m³) y la mayor profundidad (media de 4.5 m). Las tormentas tropicales caracterizan a esta temporada aumentando el caudal de los ríos, y por

ende sus plumas, aportando nutrientes a la zona costera lo que supone mayor productividad biológica (Peña-Mendoza, 2014); sin embargo, las altas temperaturas propias de esta temporada podrían estar limitando la productividad primaria (Vallina et al., 2017). No obstante, en épocas de mayor descarga, la pluma posee una mayor amplitud y los delfines tienden a situarse en el límite de la misma (Bearzi et al., 2009; Martínez-Serrano, 2011; Peña-Mendoza, 2014). Esto explicaría el aumento en el uso mínimo de hábitat reportado en este estudio. Asimismo, el aumento en el caudal de los ríos, el dragado realizado para las actividades antrópicas y la cercanía de la mayoría de los delfines a la desembocadura del río Tuxpan explicarían la diferencia significativa en la profundidad. Esta temporada supone la ocurrencia de comportamientos de socialización, alimentación y desplazamiento principalmente, los cuales son más frecuentes en la zona de Tuxpan, según los resultados de Retureta-Delgado (2012) y Ojeda-Sánchez (2020).

Aquí se puede analizar que, a pesar de ser una temporada de baja productividad primaria, las plumas de los ríos podrían estar aportando indirectamente el alimento suficiente para las presas de los delfines. Esto daría lugar a una mayor dinámica de comportamientos donde los delfines realizan mayor diversidad de actividades, a pesar de que los prioritarios siguen siendo alimentación y desplazamiento.

En contraste, la temporada de Nortes presenta una distribución diferente a las temporadas de Secas y Lluvias. Los individuos de *T. truncatus* se disponen de manera uniforme a lo largo de la costa, lo que da por resultado el mayor valor de uso mínimo de hábitat (PMC de 18.4 Km², Figura 7c). En esta temporada, el hábitat de preferencia de *T. truncatus* está caracterizada por bajas TSM (media de 23.9°C), altos valores de productividad primaria (media [Cl a] de 1.86 mg/m³) y a bajas profundidades (media de 1.48 m). Esta distribución más uniforme a lo largo de la costa y el hábitat de preferencia reportado pueden deberse a que en la temporada de Nortes, los frentes fríos interactúan con el océano dando por resultado surgencias uniformes en toda la zona costera. Estas surgencias enfrían la TSM y aportan los nutrientes necesarios favoreciendo la productividad biológica (Ortiz-Lozano et al., 2010), lo que supone alimento disponible en toda la zona costera. Esto también concuerda con el modelo construido por Martínez-Serrano (2011). En cuanto a los rasgos comportamentales, esta temporada es la más dinámica de todas, aquí los comportamientos

de socialización, alimentación y desplazamiento se dan en frecuencia similares, aunque hay una preferencia por desplazarse a la zona de Tamiahua (Ojeda-Sánchez, 2020).

Esto sugiere que, la temporada de Nortes es el periodo con mayor disponibilidad de alimento distribuido más uniformemente en toda la costa del área de estudio. Así los delfines podrían reducir la inversión energética en la búsqueda de alimento y aumentar la frecuencia en comportamientos claves para esta población de delfines.

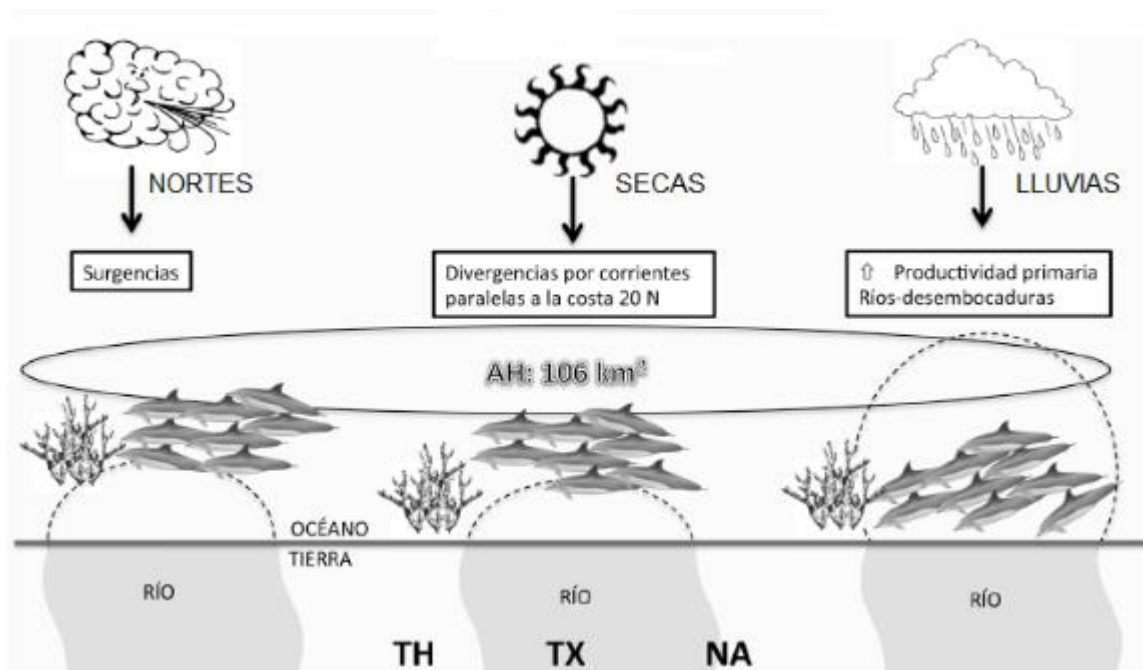


Figura 15. Modelo espacio-temporal de uso de hábitat de *T. truncatus* en el norte de Veracruz. Donde TH: Tamiahua, TX: Tuxpan, NA: Nautla, AH: ámbito hogareño los semicírculos de líneas punteadas representan la variación en la pluma de las desembocaduras de ríos y lagunas. Tomado de “Ámbito hogareño y composición grupal de toninas (*Tursiops truncatus*) en la zona norte-centro de Veracruz, México” por Ibiza Martínez-Serrano. 2011, *Tesis doctoral*. Página 135.

Finalmente, es importante concluir que la compleja estructura y dinámica social de fisión-fusión que presenta esta especie le confieren la capacidad de adecuarse a los cambios espacio-temporales del recurso trófico (Würsig, 2019). En este sentido, Ojeda-Sánchez (2020) encontró que los delfines en esta zona forman grupos más grandes con menor índice de asociación y se da un intercambio continuo de individuos, lo que sugiere una alta dinámica poblacional. Sumado a esto, los resultados hallados en este estudio muestran que, a pesar de

las diferencias entre temporadas antes discutidas, el área de estudio es clave durante todo el año para la población de toninas, ya que es una zona que proporciona los recursos alimenticios necesarios y puede brindar un ambiente propicio para la crianza de los delfines (Retureta-Delgado, 2012; Peña-Mendoza, 2014; Ojeda-Sánchez, 2020). Estas características son cruciales, ya que impactan directamente sobre el fitness biológico de esta especie (Mann, 2019).

Actividades humanas

Las zonas costeras son escenarios de las actividades humanas, las cuales están en constante crecimiento alterando las características del hábitat (CEPAL, 2019). Frecuentemente, estas áreas alteradas coinciden con las áreas de uso de hábitat de los delfines (Vázquez-Castán et al., 2007; Martínez-Serrano et al., 2011; Hernández-Candelario et al., 2015; La Fauci, 2015). Por lo que las actividades humanas son una variable que debe tenerse en cuenta a la hora de estudiar las presiones ambientales que condicionan la dinámica poblacional de *T. truncatus* en el norte de Veracruz.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el patrón de distribución de los avistamientos de actividades antrópicas se asemeja a la distribución de *T. truncatus* a pesar de presentar una intersección del 13.6% (Figura 9). En este sentido, la mayor frecuencia de avistamientos cerca de las desembocaduras correspondió a lanchas pesqueras, seguida por redes agalleras y barcos de carga (Cuadro 3). Esta caracterización está subestimada, ya que sólo se tomaron datos durante la mitad de las navegaciones y sólo es descriptiva. A pesar de esto, los datos obtenidos en campo ofrecen una tendencia sobre las actividades principales de la zona, tales como pesca y el tráfico marítimo impuesto por el puerto de Tuxpan. No obstante, nuestros resultados coinciden con el estudio realizado por Hernández-Candelario et al. (2015), quienes reportaron que en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano las redes agalleras fueron las más frecuentes (47.3%) entre las artes de pesca, y las embarcaciones de pesca ocuparon el 45% del total de avistamientos seguida por el tráfico marítimo (34.9%). Asimismo, el estudio de Argüelles-Jiménez, et al. (2019) también es

consistente con los resultados de este estudio. Así, el patrón local reportado en el norte (este estudio) es similar al patrón regional del centro de Veracruz.

La tendencia a las actividades pesqueras puede suponer un impacto directo sobre los delfines ya que puede generar una competencia por el recurso trófico entre pescadores y odontocetos, como se ha reportado en varias partes del mundo (Trites et al., 2006; Hernández-Candelario et al., 2015; Camiñas et al., 2018; Buscaino et al., 2021). Incluso, en las costas de Alvarado en Veracruz, ya se ha corroborado esta competencia entre la pesquería artesanal y las toninas (Rechimont, 2015; Chávez-Martínez, 2017). Sumado a esto, las diferencias en el comportamiento de las pesquerías y los depredadores tope marinos (Trites et al., 2006; Camiñas et al., 2018) hacen que los ecosistemas explotados puedan ser altamente fluctuantes (Anderson et al., 2008). En este sentido, la presencia de redes agalleras en el área de estudio expone a los delfines a posibles capturas incidentales, lo que puede causar su muerte tales como se reportan no sólo en el golfo de México sino también en todo el mundo (Read et al., 2006; Ward y Tunnell, 2017; Mintzer et al., 2018; Wells et al., 2019).

Por otro lado, el tráfico marítimo también supone un alto impacto para las poblaciones de delfines ya que reduce la supervivencia, altera el comportamiento, interrumpe la comunicación y, por ende, la dinámica de las poblaciones (De Stephanis et al., 2005; Hildebrand, 2009; Marley et al., 2017; Pirota et al., 2018; Tenan et al., 2020).

Por lo tanto, el tipo de actividad, la distribución, la frecuencia y la intersección de las actividades antrópicas en el área de estudio sugieren posibles amenazas con las que *T. truncatus* estaría lidiando. Así, este estudio sirve como precedente para futuros estudios, donde se evalúe el impacto de las actividades antrópicas. Es decir, analizar el grado y la forma en que la pesca y el tráfico marítimo repercuten sobre la población de *T. truncatus* y determinar cuáles son las respuestas de esta especie a dicha presión. No obstante, la importancia de esta área para la población de delfines y la convivencia con las actividades antrópicas son argumentos suficientes para delimitar un área prioritaria donde las instituciones competentes puedan implementar planes de manejo para conservar no sólo a la especie de estudio sino la de todo el ecosistema que habita, tal como sugieren Retureta-Delgado (2012), Peña-Mendoza (2014), Vázquez-Castán et al. (2014), Ojeda-Sánchez (2020).

Delimitación del área prioritaria

Los mapas resultantes para la delimitación de área prioritaria Tipo A para cada temporada muestra que: para Secas y Lluvias hay un patrón similar en las cercanías de las desembocaduras de la laguna de Tamiahua, la termoeléctrica y del río Tuxpan (Figura 10 a y b); mientras que en la temporada de Nortes el área es más dispersa a lo largo de la costa (Figura 10 c). Sin embargo, pensando en aumentar la eficiencia de manejo reduciendo los esfuerzos y los costos, se observa que los delfines frecuentan mayormente las desembocaduras a lo largo del año, inclusive durante la temporada de Nortes. Por lo que se recomendaría priorizar estas áreas que a su vez se superpone con la presencia de las actividades pesqueras y tráfico marítimo.

El mapa de área prioritaria Tipo B como resultado del modelado en MaxEnt, muestra que la probabilidad de avistaje de delfines es mayor en la zona de Tuxpan (incluyendo la desembocadura de la termoeléctrica) en comparación con la zona de Tamiahua. Esto puede deberse a que el modelado se configura desde los puntos de avistamiento en campo, los cuales resultaron mayores en Tuxpan (9 avistamientos) que en Tamiahua (3 avistamientos). En cuanto a la precisión del modelado obtenido, la Figura 11 muestra que la curva de omisión no se asemeja a la curva predicha, lo que sugiere que el modelado no es tan preciso. Esto puede deberse a la resolución espacial que se obtuvo de las imágenes ráster de los sensores remotos (4 km), es decir, quizás una resolución espacial menor podría haber mejorado la precisión del modelo. No obstante, la curva operacional ROC (Figura 12) muestra un ajuste aceptable del modelo ya que el valor de AUC (0.823) se encuentra dentro de los rangos aceptables según Araújo et al., (2005).

Por otro lado, la prueba de Jackknife de Importancia de variables (Figura 13) muestra que la variable ambiental con información más útil por sí misma es la TSM y es la variable ambiental que más disminuye el ajuste del modelo cuando se omite. Aquí se puede ver que la [Cl *a*] no impacta tan directamente sobre el modelo debido a que es una variable que afecta indirectamente a los delfines. Es decir, los delfines ocupan altos niveles tróficos, lo que supone el consumo de alimento que puede distribuirse de manera diferenciada de los niveles tróficos inferiores (Chávez-Martínez, 2017; Abarca-Arenas et al., 2019) disminuyendo la asociación de esta variable ambiental con la probabilidad de ocurrencia.

Por lo tanto, el modelado del Área Prioritaria Tipo B se centra más en la región de Tuxpan, lo cual coincide con la mayor frecuencia de avistamientos, a pesar de no poseer la precisión deseada. Aquí cabe resaltar que este modelado es otra forma de apoyar los resultados obtenidos en los mapas del Tipo A, dando una base estadística más robusta. Este modelado es el primero reportado a nivel local, y ofrece información relevante a la hora de configurar el área prioritaria final, tal como sugiere la IUCN Marine Mammal Protected Areas Task Force (2018). Así, este estudio es un precedente para que futuras líneas de investigación puedan afinar los modelados, aumentando su precisión, reduciendo las resoluciones espaciales de las imágenes satelitales y aumentando el número de variables predictoras.

7. Conclusiones

7.1. La abundancia poblacional anual de *T. truncatus* según el modelo Jolly-Seber se mantiene relativamente constante, lo que concuerda con la hipótesis de investigación. No obstante, los valores obtenidos (306; IC_{95%}= 162.97-607.33) podrían estar siendo subestimados, lo que sugiere que la abundancia puede ser mayor, acercándose a las tendencias de las curvas de acumulación (400-450 individuos) y Darling-Morowitz (430 individuos aprox.).

7.2. A modo general, las variaciones entre temporadas en la TSM, [Cl *a*] y profundidad asociados a los patrones de distribución y tamaño de grupo siguen las tendencias típicas del ecotipo costero. En las costas de Tuxpan y Tamiahua, los grupos de *T. truncatus* son altamente dinámicos entre temporadas, presentando cambios en: la asociación entre individuos, el tamaño de grupo, las migraciones, los patrones de comportamiento, entre otros rasgos. Estas variaciones espacio-temporales son respuestas a la variación en la disponibilidad del recurso trófico principalmente, sin embargo, el área de estudio resulta crucial para el desempeño biológico de esta especie.

7.3. La pesca y el tráfico marítimo son las actividades antrópicas principales en el norte de Veracruz y tienen el potencial de afectar a esta especie. Este estudio sólo describió la intersección de estas actividades con el uso de hábitat de toninas. Sin embargo, se incita a que futuros estudios evalúen el grado y tipo de interacción de las actividades antrópicas, pudiendo definir cómo impactan estas actividades sobre estos cetáceos.

7.4. En líneas generales, la delimitación del área prioritaria del Tipo A en conjunto evidencian la importancia de las desembocaduras de la laguna de Tamiahua, la termoeléctrica y el río Tuxpan durante las tres temporadas, aunque durante los Nortes la distribución es más homogénea a lo largo de la costa. Mientras que la delimitación del Tipo B aporta la información probabilística necesaria para hacer la delimitación del área final más robusta estadísticamente.

7.5. Finalmente, los resultados obtenidos en este estudio evidencian la necesidad de delimitar los sitios de importancia para *T. truncatus*, siendo ésta una forma estratégica de conservación de los ecosistemas costeros.

8. Aplicación Práctica

Propuesta de Área Prioritaria en el norte de Veracruz

Área Marina Prioritaria de delfines Tuxpan-Tamiahua

La identificación de áreas prioritarias aplicando la guía publicada por la IUCN Marine Mammal Protected Areas Task Force (2018) intenta proporcionar una herramienta de conservación nacional e internacional valiosa para los mamíferos marinos. A su vez, es una estrategia que optimiza y prioriza los esfuerzos de conservación de todo el ecosistema en el que estas especies habitan (IUCN, 2018; De Rock et al., 2019). Proponer esta área prioritaria en el norte de Veracruz implicó la identificación y delimitación de áreas de importancia para la población de toninas (*Tursiops truncatus*).

En primer lugar, este proceso implica argumentar la importancia de áreas claves para los mamíferos marinos antes de delimitarlas. Por lo que la IUCN describió criterios y subcriterios que tienen como objetivo distinguir aspectos críticos de la biología, la ecología y la estructura de la población de los mamíferos marinos. En líneas generales, estos criterios abarcan la vulnerabilidad, la distribución, la abundancia, los atributos especiales y las actividades clave del ciclo de vida. En este sentido, dentro de los criterios propuestos por la IUCN no sólo se enmarcan los resultados de este trabajo (abundancia y distribución), sino que se tuvo en cuenta estudios previos que evalúan otros criterios también importantes para determinar la relevancia de esta estrategia de manejo. A continuación, se citan los criterios textuales de la guía IUCN Marine Mammal Protected Areas Task Force (2018) seguida por la descripción de estudios puntuales que hayan evaluado estos criterios.

➤ Criterio A: Vulnerabilidad de especies o poblaciones

Áreas que contienen hábitats importantes para la supervivencia y recuperación de especies o poblaciones amenazadas o en declive.

La tonina ha sido catalogada por la IUCN en 2019 con Datos insuficientes en el golfo de México (Wells et al., 2019), se encuentra en el apéndice II de CITES (2021) (especies que no están necesariamente amenazadas de extinción pero que podrían llegar a estarlo a menos que se controle estrictamente su comercio) y la SEMARNAT (2010) la ubica Bajo Protección especial.

En este aspecto, a pesar de que este estudio reporta una abundancia relativamente conservada; recientemente se ha reportado por primera vez la prevalencia y la abundancia del epibionte balano *Xenobalanus globicipitis* en individuos de *T. truncatus* en las zonas de Tamiahua, Tuxpan y Nautla; pero aún no se conoce con exactitud las causas y el efecto del establecimiento de este balano y las interacciones ecológicas entre estas especies (Gómez-Hernández et al., 2020). No obstante, las características del hábitat y la variación en factores ambientales podrían estar influyendo en la prevalencia y abundancia de los balanos sobre *T. truncatus* (Gómez-Hernández et al., 2020). Además, dentro del área de estudio se ha incrementado el tráfico marítimo y la pesca con redes de arrastre, lo cual constituye un peligro potencial para la especie. Sin embargo, es necesario abordar estudios que analicen las potenciales amenazas a las que la población de *T. truncatus* está expuesta.

➤ Criterio B: Distribución y abundancia

Subcriterio Bi: Poblaciones pequeñas y residentes

Áreas que albergan al menos una población residente, que contienen una proporción importante de esa especie o población, que están ocupadas de manera constante.

Los resultados de este estudio muestran que la abundancia poblacional de la tonina está relativamente conservada en el norte de Veracruz. Asimismo, se encontró que la tonina presenta un marcado patrón de distribución asociado a las desembocaduras del río Tuxpan, la termoeléctrica y la laguna de Tamiahua; y se vio que esta especie cambia su distribución como una estrategia de adecuación a los cambios espacio-temporales en la disponibilidad de alimento. En relación a esto, se ha determinado que la población de *T. truncatus* presenta alta fidelidad al sitio en las costas del norte de Veracruz (Martínez-Serrano et al., 2011) además de estar caracterizada por la formación de grupos pequeños, a pesar de vivir en un hábitat abierto (Peña-Mendoza, 2014; Martínez-Serrano et al., 2011; Serrano et al., 2017; Ojeda-Sánchez, 2020).

Subcriterio Bii: Agregaciones

Áreas con cualidades subyacentes que soportan concentraciones importantes de una especie o población.

En el norte de Veracruz *T. truncatus* presenta un marcado patrón de agregación en las desembocaduras de ríos y lagunas tal como se reporta en los resultados de este estudio, como también se observó en trabajos previos (Martínez-Serrano et al., 2011; Peña-Mendoza, 2014; Serrano et al., 2017; Ojeda-Sánchez, 2020). Sumado a esto, Vázquez-Castán et al. (2014) determinó que Tamiahua soporta una densidad de 0.9 animal/km², Tuxpan 0.39 animal/km² y Nautla 0.29 animal/km², destacando la importancia de estas áreas para su conservación.

➤ Criterio C: Actividades clave del ciclo de vida

Subcriterio Ci: Áreas reproductivas

Áreas y condiciones que son importantes para que una especie o población se aparee, dé a luz y / o cuide a las crías hasta el destete.

En la gran mayoría de los estudios realizados en la zona, se han reportado la presencia de crías en todas las temporadas, desplegando los comportamientos de sus pares como alimentación, socialización, desplazamiento y descanso (Ojeda-Sánchez, 2020; Martínez-Serrano et al., 2011).

Subcriterio Cii: Áreas de alimentación

Áreas y condiciones que brindan una importante base nutricional de la que depende una especie o población.

Diversos estudios reportan comportamientos de alimentación y distribución en función del recurso alimenticio en esta región siendo las áreas más relevantes las desembocaduras de ríos y lagunas (Martínez-Serrano et al., 2011; Retureta-Delgado, 2012; Peña-Mendoza, 2014; Serrano et al., 2017; Ojeda-Sánchez, 2020). Inclusive, durante los muestreos a campo de este estudio se presenciaron comportamientos de alimentación, a pesar de ser un rasgo que no se evaluó.

Subcriterio Ciii: Rutas de migración

Áreas utilizadas para importantes migraciones u otros movimientos, que a menudo conectan distintas áreas del ciclo de vida o conectan diferentes partes del rango de distribución durante todo el año de una población no migratoria.

A nivel regional, se ha sugerido que la zona de Tecolutla hasta la laguna de Tamiahua es escenario de una sola comunidad residente de *T. truncatus*, la cual está integrada por

residentes, visitantes ocasionales y transeúntes; esta compleja dinámica poblacional podría estar relacionada con la alimentación (Martínez-Serrano et al., 2011). Asimismo, Ojeda-Sánchez (2020) reporta el 32% de intercambio entre Tuxpan y Tamiahua. Es decir, la región norte de Veracruz es escenario de distintos patrones de distribución altamente dinámicos en sitios cruciales para el ciclo de vida que a su vez están interconectados entre sí.

➤ Criterio D: Atributos especiales

Subcriterio Di: distinción

Áreas que sustentan poblaciones con importantes características genéticas, conductuales o ecológicamente distintivas.

Los estudios de Serrano et al. (2017) y Ojeda-Sánchez (2020) manifiestan la presencia del patrón fisión-fusión de *T. truncatus* en la zona de Nautla hasta Tamiahua. Es decir, la dinámica poblacional varía en escalas espacio-temporales con complejos cambios en la formación de grupos aún no del todo claros. No obstante, resulta crucial realizar estudios sobre la estructura genética y sobre la identificación de sexos para entender con más claridad la estructura social de esta población.

Subcriterio Dii: Diversidad

Áreas que contienen hábitat que sustenta una importante diversidad de especies.

Los rangos espaciales que frecuentan los individuos de toninas involucran sitios como estuarios, lagunas costeras y arrecifes de coral en toda la zona costera de Veracruz (Valdés-Arellanes et al., 2011; Vázquez-Castán et al., 2014; Serrano et al., 2017; Ojeda-Sánchez, 2020). Estos sitios están fuertemente interconectados, albergando una alta biodiversidad de especies de peces (Abarca-Arenas et al., 2019). Entre otros taxa sumamente importantes para el funcionamiento de estos complejos ecosistemas. Puntualmente en el área estudiada, se han reportado 143 especies de peces en Tamiahua, 176 en la laguna de Tampamachoco, 59 en Tuxpan (Abarca-Arenas et al., 2019) y 282 en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (González-Gándara et al., 2013), estos arrecifes son de crucial importancia, por lo que han sido declarados Área Natural Protegida por la CONANP. Algunas de todas estas especies son presas potenciales de estos delfines, las cuales son características de diferentes tipos de hábitat (*i.e.*, estuarino, bentónico, pelágico y asociado a arrecifes), por lo que *T. truncatus* y

sus presas pueden alimentarse en una gran variedad de hábitats (Chávez-Martínez, 2017). Así, resulta estratégico tomar a *T. truncatus* como especie a conservar en el norte de Veracruz, ya que los futuros planes de manejo que se puedan implementar para proteger a esta especie van a proteger, consecuentemente a la amplia diversidad de especies de niveles tróficos inferiores.

Se espera que esta propuesta de Área prioritaria sea de interés para el ámbito científico especialista en mamíferos marinos, conservacionistas, administradores y gestores de los recursos naturales como la CONANP y la SEMARNAT. Asimismo, esta propuesta puede facilitar el desarrollo de áreas prioritarias consistentes para la conservación, siendo este trabajo el primer precedente contundente en delimitar un área importante para *T. truncatus* en el norte de Veracruz. Cabe aclarar que la identificación de áreas prioritarias (IUCN-IMMA) no supone necesariamente protección "completa" de la especie en foco; no obstante, ofrece información valiosa sobre temas que se detallan a continuación, los cuales se citan textualmente de IUCN Marine Mammal Protected Areas Task Force (2018):

- El diseño y la gestión de las Áreas Protegidas de Mamíferos Marinos.
- Las preocupaciones sobre la conservación de los mamíferos marinos mediante la recopilación y distribución de capas de información dentro del contexto de la planificación espacial marina.
- La conveniencia de considerar a mamíferos marinos en los procedimientos de selección de áreas prioritarias en contextos nacionales y regionales, además de estar estandarizados por la IUCN.
- El apoyo en la negociación de instrumentos legalmente vinculantes bajo la CONVEMAR con respecto a la protección de la biodiversidad en áreas fuera de la jurisdicción nacional.
- La priorización de áreas en las que los órganos de gestión sectoriales necesitan directrices o reglamentos.
- La identificación de áreas que son potencialmente útiles para monitorear los efectos del cambio climático en la biología, el comportamiento y el hábitat de los mamíferos marinos.

A continuación, en la Figura 16 se muestra el resultado final del proceso de identificación del Tipo A y B descrito en este trabajo para la conservación de *T. truncatus*. Cabe resaltar

que, a fines de manejo, se redujo el área prioritaria a los sitios donde hubo más frecuencia de avistamientos. Por otro lado, integrar sitios de alta conectividad es crucial para la abundancia, la distribución y la persistencia de las poblaciones de mamíferos marinos (Dunn et al., 2019). En este sentido, a pesar de que el modelado del Tipo B con MaxEnt no dio altas probabilidades de avistamiento en la zona de Tamiahua, se la incluyó debido a su importancia durante la temporada de Nortes además de ser un sitio de alto intercambio de delfines con la zona de Tuxpan. Es decir, ambos sitios están altamente interconectados.

Es importante notar que los límites de esta área incluyen las desembocaduras de la laguna de Tamiahua y del río Tuxpan, esto supone un conflicto de intereses con las pesquerías de ambas zonas y el tráfico marítimo del puerto de Tuxpan. Ante esta situación, se recomienda que en futuros estudios se aborden temas relacionados con el manejo participativo para involucrar a todos los actores principales y así poder llegar a acuerdos acerca de la forma de manejo y conservación en esta área. Así, se espera que las futuras políticas de estado logren gestionar esta área manteniendo el desarrollo económico de la zona y a su vez conservando no sólo a las toninas sino también a todo el ecosistema en el que habita; garantizando un desarrollo sustentable y perdurable en el tiempo.

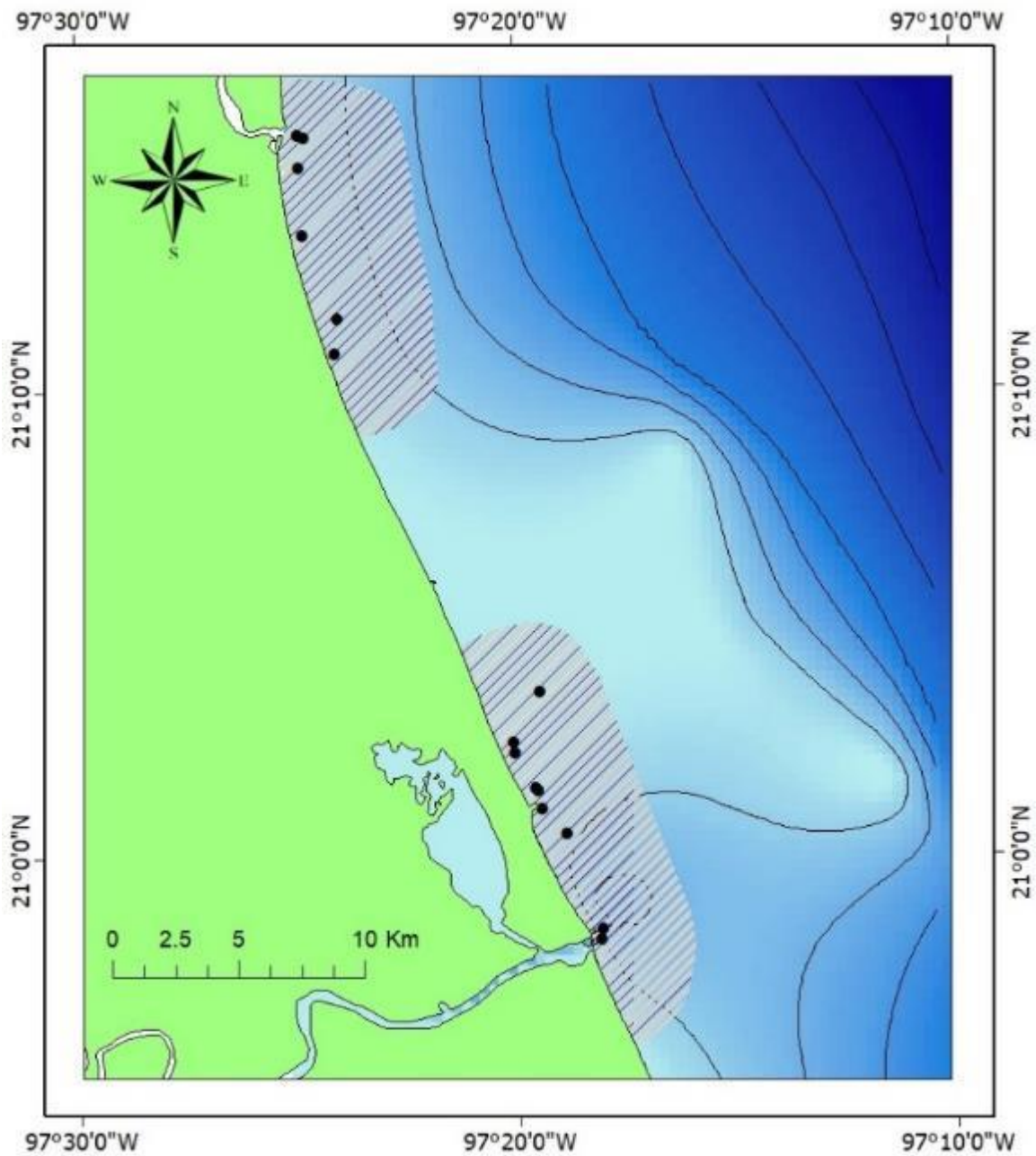


Figura 16. Área Prioritaria IUCN-IMMA en la zona Tuxpan-Tamiahua. Se muestra la propuesta de delimitación para la conformación de un área prioritaria en el norte de Veracruz.

Por todo lo anteriormente expuesto, la delimitación construida en este trabajo sirve como información sobre la importancia de un área para la protección de la tonina en el norte de Veracruz. Esta delimitación queda a disposición para ser utilizada por los distintos actores involucrados interesados en tomar acciones de conservación de estas especies, así como para la planificación marina en general. Los mapas diseñados y los argumentos descritos pueden

ser distribuidos a los gobiernos nacionales, acuerdos regionales, responsables de la formulación de políticas y a las agencias conservacionistas, para su consideración en el desarrollo de medidas de gestión. Asimismo, a nivel internacional, esta delimitación y su evidencia de apoyo puede ser parte del proceso de selección de áreas IMMA, el cual implica un proceso de 5 etapas, siendo este trabajo parte de la primera etapa (Nominación de "áreas de interés" preliminares), ver en www.marinemammalhabitat.org/imma-atlas el cual es un atlas especializado en el tema. Esta propuesta puede tener el potencial de poner a esta área dentro de este atlas internacional, si en investigaciones futuras se logra avanzar en las demás etapas requeridas para ser parte de esta. Conseguir este estatus de protección ofrecería mayor atención internacional, conservando estratégicamente los ecosistemas costeros del norte de Veracruz para generaciones futuras.

9. Referencias

- Abarca-Arenas, L.G., J. Franco-López, E. Valero-Pacheco y C. González- Gándara, 2019. Species-Area and Trophic Level of the Fish Community of the Veracruz Coast, Mexico, p. 247-262. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.). Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376 p.
- Adams, J. D., Speakman, T., Zolman, E., & Schwacke, L. H. (2006). Automating Image Matching, Cataloging, and Analysis for Automating Image Matching, Cataloging and Analysis for Photo-Identification Research. *Aquatic Mammals*, 32(3), 374-384.
- Agius, K., Theuma, N., & Deidun, A. (2018). Does absence of charismatic species impact the ecotourism potential of Central Mediterranean islands? *Xjenza Online - Science Journal of the Malta Chamber of Scientists*, (6), 153–164.
- Anderson, C. N. K., Hsieh, C. H., Sandin, S. A., Hewitt, R., Hollowed, A., Beddington, J., May, R. M. & Sugihara, G. (2008). Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance. *Nature*, 452, 835-839.
- Araújo, M. B., Pearson, R. G., Thuiller, W., & Erhard, M. (2005). Validation of species–climate impact models under climate change. *Global change biology*, 11(9), 1504-1513.
- Argüelles-Jiménez, J., Soriano, M. R., y De la Cruz-Francisco, V. (2019). Hacia la Comprensión de los Aspectos Sociales y Económicos de la Pesca en el Corredor Arrecifal Veracruzano: Tamiahua como Caso de Estudio. *Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*, 263.
- Arriaga-Cabrera, L., Aguilar, V., Espinoza, J. M., Galindo, C., Herrmann, H., Santana, E. y Rosenzweig, L. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad. *Capital natural de México*, (2), 433-457.
- Aznar, F. J., Perdiguero, A., Pérez del Olmo, A., Repulles, C., Agisti, C., & Raga, J. A. (2005). Changes in epizootic crustacean infestations during cetacean die-offs: the mass mortality of Mediterranean striped dolphins *Stenella coeruleoalba* revisited. *Diseases of Aquatic Organisms*, (67), 239-247.
- Baumgartner, M. F., Mullin, K. D., May L. N., & Leming, T. D. (2001). Cetacean habitats in the northern Gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, (99), 219–239.
- Bearzi, M., Saylan, C. A., & Hwang, A. (2009). Ecology and comparison of coastal and offshore bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in California. *Marine and Freshwater Research*, 60(6), 584-593.
- Becker, E. A., Foley, D. G., Forney, K. A., Barlow, J., Redfern, J. V., & Gentemann, C. L. (2012). Forecasting cetacean abundance patterns to enhance management decisions. *Endangered Species Research*, 16(2), 97-112.
- Begon, M. (1979). *Investigating animal abundance: capture-recapture for biologists*. Edward Arnold (Publishers) Ltd.
- Begon, M. (1983). Abuses of mathematical techniques in ecology: applications of Jolly's capture-recapture method. *Oikos*, 155-158.
- Buckland, S. T., & York, A. E. (2018). Abundance estimation. pp. 1-6. En: *Encyclopedia of marine mammals*. Academic Press, E.U.A.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., & Thomas, L. (2001). Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations. *Oxford Univ. Press*.
- Buckland, S. T., Newman, K. B., Thomas, L., & Koesters, N. B. (2004). State-space models for the dynamics of wild animal populations. *Ecological modelling*, 171(1-2), 157-175.
- Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Marques, T. A., & Oedekoven, C. S. (2015). *Distance sampling: methods and applications* (Vol. 431). New York, NY, USA: Springer.
- Buscaino, G., Ceraulo, M., Alonge, G., Pace, D. S., Grammauta, R., Maccarrone, V., ... & Papale, E. (2021). Artisanal fishing, dolphins, and interactive pinger: A study from a passive acoustic perspective *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*.
- Camiñas, J. A., Aguilera, R., Macías, D., Báez J. C., Ortiz de Urbina J., Saber, S., Meléndez, M. J., García Barcelona S. Rioja, P., Gómez Vives, M. J. y Godoy, D. (2018). Las orcas y las interacciones con la pesca de atún rojo en el estrecho de Gibraltar. *Acción piloto IEO_ACCOBAMS Killer whale and fisheries interactions in the Strait of Gibraltar area. Addendum to the MoU ACCOBAMS No 06/2016/LB 6410*, 6 págs.

- Campbell, G. S., Bilgre, B. A. & Defran, D. H. (2002). Bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Turneffe Atoll, Belize: Occurrence, site fidelity, group size, and abundance. *Aquat. Mamm.* 28: 170–180.
- Castro, J., Couto, A., Borges, F. O., Cid, A., Laborde, M. I., Pearson, H. C., & Rosa, R. (2020). Oceanographic Determinants of the Abundance of Common Dolphins (*Delphinus delphis*) in the South of Portugal. *Oceans*, 1(3), 165-173.
- CEPAL, N. (2019). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. *Objetivos, metas e indicadores mundiales*.
- Certain, G., & Planque, B. (2015). Biodiversity baseline for large marine ecosystems: an example from the Barents Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 72(6), 1756-1768.
- Chávez González, H., González Guillén, M. D. J. y Hernández de la Rosa, P. (2015). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 8-23.
- Chávez-Martínez, K. (2017). Interacción entre el tursión (*Tursiops truncatus*) y la pesca artesanal de Alvarado, Veracruz, en función de la captura, calidad nutricional y composición isotópica de la comunidad de peces (Tesis de Maestría en Ciencias). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Colwell, R. K., Chang, X. M., y Jing, C. (2005). Interpolando, extrapolando y comparando las curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia. En: *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma*, 73-84.
- 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. *Revista de Biología Tropical*, 55(2), 549-557.
- Darling, J. D., & Morowitz, H. (1986). Census of "Hawaiian" humpback whales (Megaptera: novaeangliae) by individual identification. *Canadian Journal of Zoology*, 64(1), 105-111.
- Davidson, E. (2018). Stomach content analysis of stranded bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in southwest Florida from 2016-2018. Internship report (Restricted) 321. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission's Fish and Wildlife Research Institute Southwest Field Lab (FWC-SWFL), Florida, EE. UU.
- Davies, N. B., Krebs, J. R. & West, S. A. (2013). *An introduction to behavioural ecology*, 4^o ed. Willey Blackwell, Oxford (UK).
- Davis, R. W., Ortega-Ortiz, J. G., Ribic, C. A., Evans, W. E., Biggs, D. C., Ressler, P. H., Cadyc, R. B., Lebed, R. R., Mulline, K. D. & Würsig, B. (2002). Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(1), 121-142.
- De Rock, P., Elwen, S. H., Roux, J. P., Leeney, R. H., James, B. S., Visser, V., & Gridley, T. (2019). Predicting large-scale habitat suitability for cetaceans off Namibia using MinxEnt. *Marine Ecology Progress Series*, (619), 149-167.
- De Stephanis, R., Verborgh, P., Pérez Gimeno, N., Sánchez Cabanes, A., Pérez Jorge, S., Esteban Pavo, R., ... & Guinet, C. (2005). Impactos producidos por el tráfico marítimo en las poblaciones de cetáceos en el estrecho de Gibraltar. *Situación actual y previsiones de futuro*. Dirección General para la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente, 140.
- Delgado-Estrella, A., (2015). Patrones de residencia y movimientos a largo plazo de las toninas *Tursiops truncatus* en la región sureste del Golfo de México. *Therya*, 6(2), 297-314.
- Delgado-Estrella, A., Barreto-Castro, M. D. R., Acevedo-Olvera, G., & Vázquez-Maldonado, L. E. (2015). Effects of pollutant discharges on the aquatic mammal populations of Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, (200), 229-235.
- Dunn, D. C., Harrison, A. L., Curtice, C., DeLand, S., Donnelly, B., Fujioka, E., ... & Halpin, P. N. (2019). The importance of migratory connectivity for global ocean policy. *Proceedings of the Royal Society B*, 286(1911), 20191472.
- Eierman, L. E., & 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.
- Fossi, M. C., Peda, C., Compa, M., Tsangaris, C., Alomar, C., Claro, F., & Romeo, T. (2018). Bioindicators for monitoring marine litter ingestion and its impacts on Mediterranean biodiversity. *Environmental Pollution*, (237), 1023-1040.

- Friday, N. A., Smith, T. D., Stevick, P. T., Allen, J., & Fernald, T. (2008). Balancing bias and precision in capture-recapture estimates of abundance. *Marine Mammal Science*, 24(2), 253-275.
- Friday, N., Smith, T. D., Stevick, P. T., & Allen, J. (2000). Measurement of photographic quality and individual distinctiveness for the photographic identification of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*. *Marine Mammal Science*, 16(2), 355-374.
- Galindo, J. A., Serrano, A., Vázquez-Castán, L., González-Gándara, C., & López-Ortega, M. (2009). Cetacean diversity, distribution, and abundance in northern Veracruz, Mexico. *Aquatic Mammals*, 35(1), 12.
- Geneletti, D. (2011). Reasons and options for integrating ecosystem services in strategic environmental assessment of spatial planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services y Management*, 7(3), 143-149.
- Giglio, V. J., Luiz, O. J., & Schiavetti, A. (2015). Marine life preferences and perceptions among recreational divers in Brazilian coral reefs. *Tourism Management*, (51), 49-57.
- Gómez-Aguayo, A. M. (2017). Valoración económica de los servicios ecosistémicos proporcionados por un ecosistema costero-marítimo aplicando la metodología Amuvan: caso implementación costa de la Safor. Tesis de Máster, Universitat politècnica de València.
- Gómez-Hernández, I., Serrano, A., Becerril-Gómez, C., Basañez-Muñoz, A., y Naval-Ávila, C. (2020). Prevalencia y abundancia relativa de balanos *Xenobalanus globicipitis* presentes en poblaciones de delfín nariz de botella *Tursiops truncatus* en el Golfo de México Sur. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 55(2), 172-176.
- González Gándara, C., Lozano Vilano, M. D. L., de la Cruz Francisco, V., y Domínguez Barradas, C. (2013). Peces del sistema arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México. *Universidad y ciencia*, 29(2), 191-208.
- Granados-Barba, A., L. Ortiz-Lozano, C. González-Gándara y D. Salas-Monreal (eds.), 2019. Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 376.
- Guevara-Aguirre, D. (2011). Relación de la presencia de toninas (*Tursiops truncatus*) en la laguna de Términos, Campeche, México con los factores ambientales. Tesis de maestría., Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Harris, S., Cresswell, W. J., Forde, P. G., Trehwella, W. J., Woollard, T., & Wray, S. (1990). Home-range analysis using radio-tracking data—a review of problems and techniques particularly as applied to the study of mammals. *Mammal review*, 20(2-3), 97-123.
- Hazen, E. L., Jorgensen, S., Rykaczewski, R. R., Bograd, S. J., Foley, D. G., Jonsen, I. D., Shaffer, S. A., Dunne, J. P., Costa, D. P., Crowder, L. B., & Block, B. A. (2013). Predicted habitat shifts of Pacific top predators in a changing climate. *Nature Climate Change*, 3(3), 234-238.
- Heckel, G. (1992). Fotoidentificación de tursiones *Tursiops truncatus* (Montagü, 1821) en la boca de Corazones de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México (Cetacea: Delphinidae). B. Sc. dissertation, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Heckel, G., Ruiz Mar, M.G., Schramm, Y. & Gorter, U. (2020). Atlas of Marine Mammal Distribution and Abundance in Mexican Waters. Universidad Autónoma de Campeche. 186 p.
- Hernández-Candelario, I. C., Morteo, E., Heckel, G., Sosa-Nishizaki, O., Álvarez-Sánchez, L. G., Flores-Uzeta, O., & Martínez-Serrano, I. (2015). Caracterización de la relación entre la distribución espacio-temporal de los tursiones (*Tursiops truncatus*) y las actividades humanas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *REVISTA DIGITAL EBIOS, Número Especial*, 8, 34-52.
- Hildebrand, J. A. (2009). Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Marine Ecology Progress Series* 395:
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). Anuario estadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2017 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- IUCN Marine Mammal Protected Areas Task Force (2018). Guidance on the use of selection criteria for the identification of Important Marine Mammal Areas (IMMAs).
- Jiménez, A., y Hortal, J. (2003). Las curvas de evaluación silvestre y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica Aracnología*, (8), 151-161.
- Kiszka, J. J., Heithaus, M. R., & Wirsing, A. J. (2015). Behavioural drivers of the ecological roles and importance of marine mammals. *Marine Ecology Progress Series*, 523, 267-281.
- Kreb, D., Lhota, S., Porter, L., Redman, A., Susanti, I., & Lazecky, M. (2020). Long-term population and distribution dynamics of an endangered Irrawaddy dolphin population in Balikpapan Bay, Indonesia in response to coastal development. *Frontiers in Marine Science*, (7), 746.

- La Fauci, D. (2015). Segregación espacial por clases de edad en delfines (*Tursiops truncatus*) de la costa central de Veracruz, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana-Università Politecnica delle Marche. 36 p.
- Lango-Reynoso, F. y R. Castañeda-Chávez, (2011). La biodiversidad pesquera y acuícola: su preservación a través de sistemas de calidad. pp. 517-528. En: A. Cruz (ed). La biodiversidad en Veracruz: estudio de Estado. Vol. I: Contexto actual del estado y perspectivas de conservación de su biodiversidad. CONABIO, Gob. del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, INECOL, A.C. México. 541 pp.
- Lara-Lara, J. R., Arenas-Fuentes, V., Bazán-Guzmán, C., Díaz-Castañeda, V., Escobar Briones, E., García Abad, M. C., Gaxiola Castro, Gilberto, Robles Jarero Guadalupe, Sosa-Ávalos Ramón, Soto-González, L. A., Tapia-García, M. y Valdez-Holguín, J. E. (2008). Los ecosistemas marinos, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, 135-159.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y protección al Ambiente, (2018). Cámara de Diputados. En: Congreso de los Estados Unidos Mexicanos.
- Liquete, C., Piroddi, C., Drakou, E. G., Gurney, L., Katsanevakis, S., Charef, A., & Egoh, B. (2013). Current Status and Future Prospects for the Assessment of Marine and Coastal Ecosystem Services: A Systematic Review. PLoS ONE, 8(7), e67737.
- López, N., López, R., y Blanco, M. (2013). Distribución, abundancia y composición etaria de los grupos de *Tursiops truncatus* (Cetacea: Delphinidae) en la costa norte de la provincia de Matanzas, Cuba. Revista Cubana de Ciencias Biológicas, 2(3), 39-48.
- Lusseau, S. M. & Wing, S. R. (2006). Importance of local production versus pelagic subsidies in the diet of an isolated population of bottlenose dolphins *Tursiops* sp. Marine Ecology Progress Series 321: 283-293.
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P., y Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. Acta universitaria, 25(2), 03-19.
- Mann, J. (2019). Maternal Care and Offspring Development in Odontocetes. In: Würsig B. (eds) Ethology and Behavioral Ecology of Odontocetes. Ethology and Behavioral Ecology of Marine Mammals. Springer, Cham.
- Markowitz, T. M., Harlin, A. D., Würsig, B. & McFadden, C. J. (2004). Dusky dolphin foraging habitat: overlap with aquaculture in New Zealand. Aquat Conserv 14:133–149
- Marley, S. A., Kent, C. P. S., Erbe, C., & Parnum, I. M. (2017). Effects of vessel traffic and underwater noise on the movement, behaviour and vocalisations of bottlenose dolphins in an urbanised estuary. Scientific Reports, 7, 1–14.
- Martella, M. B., Trumper, E., Bellis, L. M., Renison, D., Giordano, P. F., Bazzano, G., y Gleiser, R. M. (2012). Manual de Ecología. Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres. Reduca (Biología), 5(1).
- Martínez, M. L., Intralawan, A., Vázquez, G., Pérez-Maqueo, O. & Sutton, P. (2007). The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. Ecological Economics, (63), 254–272.
- Martínez-Serrano, I., (2011). Ámbito hogareño y composición grupal de toninas (*Tursiops truncatus*) en la zona Norte-Centro de Veracruz, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México.
- Martínez-Serrano, I., Serrano, A., Heckel, G., y Schramm, Y. (2011). Distribución y ámbito hogareño de toninas (*Tursiops truncatus*) en Veracruz, México. Ciencias marinas, 37(4A), 379-392.
- Mazzoil, M., McCulloch, S. D., Defran, R. H., & Murdoch, M. E. (2004). Use of digital photography and analysis of dorsal fins for photo-identification of bottlenose dolphins. Aquatic Mammals, 30(2), 209-219.
- Melancon, R. A. S., Lane, S., Speakman, T., Hart, L. B., Sinclair, C., Adams, J., Rosel, P. E., & Schwacke, L. (2011). Photo-identification field and laboratory protocols utilizing finbase version 2. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-627.
- Melchor Marroquín, J., y Chagoya-Fuentes, J. (2016). Diagnóstico de da erosión hídrica en la cuenca del río Tuxpan, Veracruz, México. Aqua-LAC, 25-35.
- Mintzer, V. J., Diniz, K., & Frazer, T. K. (2018). The use of aquatic mammals for bait in global fisheries. Frontiers in Marine Science, (5), 191.
- Monreal-Gómez, M. A., Salas de León, D. A. y Velasco-Mendoza, H. (2004). La hidrodinámica del Golfo de México. 47-68. En: Caso et al. (Eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología, México DF, México.
- Moreno, P., & Mathews, M. (2018). Identifying foraging hotspots of bottlenose dolphins in a highly dynamic system: A method to enhance conservation in estuaries. Aquatic Mammals (44), 694-710.

- Morteo, E., Rocha-Olivares, A., & Abarca-Arenas, L. G. (2017). Abundance, Residency, and Potential Hazards for Coastal Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) Off a Productive Lagoon in the Gulf of Mexico. *Aquatic Mammals*, 43(3).
- Ojeda-Sánchez, A. (2020). Asociaciones y comportamiento de la tonina (*Tursiops truncatus*) en la región Norte del Estado de Veracruz. Tesis de maestría, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Ortega-Argueta, A., & Gordillo-Morales, G. (2004). La red de varamientos de tortugas marinas y mamíferos acuáticos de Veracruz.
- Ortega-Ortiz, J. G. (2000). Muestreo de mamíferos marinos: Estimación de abundancia de delfines mediante fotoidentificación. Pp: 337-351. En: A. Granados Barba, V. Solís Weiss y R. G. Bernal Ramírez (eds.) *Métodos de Muestreo en la Investigación*.
- Ortega-Ortiz, J. G. (2002). Multiscale analysis of cetacean distribution in the Gulf of Mexico. Doctoral dissertation, Texas A y M University, E. U. A.
- 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. En: Caso, M., Pisanty, I. y Ecurra, E. (Eds.). *Diagnóstico Ambiental del Golfo de México* Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México.
- Ortiz-Lozano, L., Colmenares-Campos, C., & Gutiérrez-Velázquez, A. (2018). Submerged Coral Reefs in the Veracruz Reef System, Mexico, and its implications for marine protected area management. *Ocean & Coastal Management*, (158), 11-23.
- Papale, E., Ceraulo, M., Giardino, G., Buffa, G., Filiciotto, F., Grammata, R., ... & Buscaino, G. (2017). Association patterns and population dynamics of bottlenose dolphins in the Strait of Sicily (Central Mediterranean Sea): implication for management. *Population Ecology*, 59(1), 55-64.
- Peña-Mendoza, V. (2014). Influencia de cuencas hidrográficas exorreicas en la distribución y permanencia de un depredador tope *Tursiops truncatus*, en la zona costera norte Veracruzana. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Ver. México.
- Pirotta, E., Booth, C. G., Costa, D. P., Fleishman, E., Kraus, S. D., Lusseau, D., Moretti, D., New, L. F., Schick, R. S., Schwarz, L. K., Simmons, S. E., Thomas, L., Tyack, P. L., Weise, J. M., Wells, R. S. & Harwood, J. (2018). Understanding the population consequences of disturbance. *Ecology and Evolution*, 8(19), 9934-9946.
- Piwetz, S. (2019). Common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behavior in an active narrow seaport. *PLoS One*, (14), e0211971.
- Pollock, K. H., Nichols, J. D., Brownie, C., & Hines, J. E. (1990). Statistical inference for capture-recapture experiments. *Wildlife monographs*, 3-97.
- Pozo-Barbero, M. (2018). Muestreo de captura-recaptura: Diseño, estimación y análisis de librerías en R. Tesis de Licenciatura. Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Ramírez-León, M. R., García-Aguilar, M. C., Aguayo-Lobo, A., Fuentes-Allen, I., & Sosa-Nishizaki, O. (2020). What Do We Know About Cetaceans in the Mexican Waters of the Gulf of Mexico? A Review. *Aquatic Mammals*, 46(6), 623-632.
- Ramos, E. A., Castelblanco-Martínez, D. N., Landeo-Yauri, S., Niño-Torres, C. A., Magnasco, M. O., & Reiss, D. (2017). Small drones: a tool to study, monitor, and manage free-ranging Antillean manatees in Belize and Mexico. *Sirenews*, (20), 1-7.
- Ramos, E. A., Maloney, B., Magnasco, M. O., & Reiss, D. (2018). Bottlenose dolphins and antillean manatees respond to small multi-rotor unmanned aerial systems. *Frontiers in Marine Science*, 5(316).
- Read, A. J., Drinker, P., & Northridge, S. (2006). Bycatch of marine mammals in US and global fisheries. *Conservation biology*, 20(1), 163-169.
- Rechimont, M. E. (2015). Evaluación de la depredación del delfín costero (*Tursiops truncatus*) sobre la pesquería artesanal en la costa central de Veracruz, México. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología A.C. 59 pp.
- Reif, J. S., Schaefer, A. M., Bossart, G. D. y Fair, P. A. (2017). Health and environmental risk assessment project for bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* from the southeastern USA. II. Environmental aspects. *Diseases of Aquatic Organisms*, 125(2), 155-166.
- 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, Ver. México.

- Reynolds, J. E., Wells, R. S. & Eide, S. D. (2000). The Bottlenose Dolphin. Biology and Conservation. University Press of Florida, 288 pp.
- Rivera Moreno, J., Camacho Morales, M. D. L. Á., García Cuan, T., Hernández Sandoval, J., Galindo Cortes, G., & Pech Paat, J. A. (2013). Diagnóstico económico-financiero del desempeño de las organizaciones que se dedican a la pesca industrial de camarón en Alvarado y Tuxpan, Veracruz (Economic-Financial Performance Diagnosis of Organizations Dedicated to the Industrial Shrimp Fishing in Alvarado and Tuxpan, Veracruz). *Revista Internacional Administración & Finanzas*, 6(2), 33-55.
- Rosel, P. E., Hohn, A. A., Mullin, K., Garrison, L. P., Schwacke, L. H., Adams, J., & Gorgone, A. M. (2011). Photo-identification capture-mark-recapture techniques for estimating abundance of bay, sound and estuary populations of Bottlenose dolphins along the US East Coast and Gulf of Mexico, a workshop report. NOAA Technical Memorandum. NMFS-SEFSC-621. 1-30.
- Rubenstein, D. & Alcock, J. (2019). *Animal Behavior*, (7^o edición), Oxford University Press.
- Ruiz Barradas, A., Tejada Martínez, A., Miranda Alonso, S., & Flores Zamudio, R. H. (2010). Climatología.
- Ruiz-Hernández, I. A. (2014). Desplazamientos de toninas (*Tursiops truncatus*) en la costa central de Veracruz, México. Trabajo de Experiencia Recepcional, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz.
- Salas-Monreal, D., Salas-Pérez, J. J., Salas de León, D. A., María Adela Monreal-Gómez M. A., Pérez-España, H., Ortiz Lozano, L. D., Granados-Barba A., Riverón-Enzástiga M. L. y Villegas-Sánchez C. A. (2017). Corrientes superficiales dentro del corredor arrecifal del Suroeste del Golfo de México. *UVserva*, (3), 32-36.
- Sánchez C, V., Illoldi, P., Linaje, M., Fuller, T., y Sarkar, S. (2008). Por qué hay un costo en posponer la conservación de la diversidad biológica en México. *Biodiversitas*, (76), 7-12.
- Santos, M. B., & Pierce, G. J. (2015). Marine mammals and good environmental status: science, policy and society; challenges and opportunities. *Hydrobiologia*, 750(1), 13-41.
- Schramm, Y. (1993). Distribución, movimientos, abundancia e identificación del delfín *Tursiops truncatus* (Montagü, 1821), en el sur de la Laguna de Tamiahua, Ver., y aguas adyacentes (Cetacea: Delphinidae). Tesis de grado, Escuela de Biología, Universidad Autónoma de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, Mexico.
- Seber, G. A. F. (1982). Estimation of animal abundance and related parameters (2nd edn.). London: Griffin.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Diario Oficial de la Federación.
- Segura-García I., L. Rojo-Arreola, A. Rocha- Olivares, G. Heckel, J.P. Gallo-Reynoso y R. Hoelzel (2018). Ecoevolutionary processes generating diversity among bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* populations of Baja California, Mexico. *Evolutionary Biology*, (45), 223-2356.
- Serrano, A., Zavaleta-Lizárraga, L. y Martínez-Serrano, I. (2007). Uso de delfines y tortugas marinas como indicadores del estado de salud del ecosistema marino en la zona norte del Golfo de México. Informe técnico. Universidad Veracruzana-PEMEX Exploración y Producción, Tuxpan, Veracruz, 197.
- Serrano, A., Carrillo -Castilla, P., García-Hernández, L., Naval-Ávila, C., Cuervo-López, L., Basañez-Muñoz, A., Zarza-Meza E. & Capistrán-Barradas A. (2017). Understanding bottlenose dolphins' (*Tursiops truncatus*) alliances in northern Veracruz, Mexico. In: Owen P. Jenkins (Ed) (2017). *Advances in Animal Science and Zoology*, 153-164.
- Serrano, A., Martínez-Serrano, I. y Zavaleta-Lizárraga, L. (2011). Diversidad y conservación de mamíferos marinos. En: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). (2011). *La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México.
- Silva, M. A., Magalhães, S., Prieto, R., Santos, R. S., & Hammond, P. S. (2009). Estimating survival and abundance in a bottlenose dolphin population taking into account transience and temporary emigration. *Marine Ecology Progress Series*, 392, 263-276.
- Smith, J. E., Kolowski, J. M., Graham, K. E., Dawes, S. E. & Holekamp, K. E. (2008). Social and ecological determinants of fission-fusion dynamics in the spotted hyaena. *Animal Behaviour* 76, 619-636.
- Sutherland, W. J. (Ed.). (2006). *Ecological census techniques: a handbook*. Cambridge university press.
- Svendsen, G. M. (2013). Distribución y uso de hábitat de mamíferos marinos en el Golfo San Matías. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Comahue. Bariloche, Argentina.
- Tardin, R. H., Maciel, I. S., Espécie, M. A., Melo-Santos, G., Simão, S. M., & Alves, M. A. S. (2020). Modelling habitat use by the Guiana dolphin, *Sotalia guianensis*, in south-eastern Brazil: Effects of environmental

- and anthropogenic variables, and the adequacy of current management measures. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30(4), 775-786.
- Tenan, S., Hernández, N., Fearnbach, H., de Stephanis, R., Verborgh, P., & Oro, D. (2020). Impact of maritime traffic and whale-watching on apparent survival of bottlenose dolphins in the Strait of Gibraltar. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30(5), 949-958.
- Toledo Ocampo, A., (2005). Marco conceptual: caracterización ambiental del Golfo de México, p. 25-52. In: A. V. Botello, J. Rendón-von Osten, G. Gold-Bouchot y C. Agraz-Hernández (Eds.). *Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias*, 2da Edición. Univ. Autón. De Campeche, Univ. Nal. Autón. de México, Instituto Nacional de Ecología. Pp 696.
- Trites, A. W., Christensen, V. & Pauly, D. (2006). Effects of fisheries on ecosystems: Just another top predator? In: Boyd, I., Wanless, S. & Camphuysen, C. J. (eds). *Top predators in marine ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, p 11-27.
- Uribe-Martínez, A., Aguirre-Gómez, R., Zavala-Hidalgo, J., Ressler, R., & Cuevas, E. (2019). Oceanographic units of the Gulf of Mexico and adjacent areas: the monthly integration of surface biophysical features. *Geofísica Internacional*, (58), 295-315.
- Valdes-Arellanes, M. P., Serrano, A., Heckel, G., Schramm, Y., y Martínez-Serrano, I. (2011). Abundancia de dos poblaciones de toninas (*Tursiops truncatus*) en el norte de Veracruz, México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(1), 227-235.
- Vallina, S. M., Cermeno, P., Dutkiewicz, S., Loreau, M., & Montoya, J. M. (2017). Phytoplankton functional diversity increases ecosystem productivity and stability. *Ecological Modelling*, 361, 184-196.
- Vázquez-Castán, L. V., 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 Científica UDO Agrícola*, 9(4), 992-999.
- Vázquez-Castán, L. V., Serrano, A., Ortega, M. L., Galindo, J. A., Arredondo, M. A. D., & Barradas, A. C. (2014). Is the Northern-central Coast of Veracruz, Mexico an important area for bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*, Montagu 1821)? *Thalassas: An international journal of marine sciences*, 30(2), 57-64.
- Vázquez-Castán, L. V., Solís, A. S., Ortega, M. L., Galindo, J. A., Arellanes, M. P. V., y Avila, C. N. (2007). Caracterización del hábitat de dos poblaciones de toninas (*Tursiops truncatus*, Montagu 1821) en la costa norte del estado de Veracruz, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 7(1), 285-292.
- Vegas Gallo, E. A. (2020). Manejo integral de la biodiversidad marina y costera en la perspectiva del desarrollo sostenible.
- Vermeulen, E., & Bräger, S. (2015). Demographics of the disappearing bottlenose dolphin in Argentina: a common species on its way out?. *PLoS One*, 10(3), e0119182.
- Vollmer, N. L., & Rosel, P. E. (2013). A review of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus truncatus*) in the northern Gulf of Mexico: population biology, potential threats, and management. *Southeastern Naturalist*, 12(m6), 1-44.
- Ward, C. H., & Tunnell, J. W. (2017). Habitats and biota of the Gulf of Mexico: an overview. *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: before the Deepwater Horizon oil spill*, 1-54.
- Waring, G. T., Josephson, E., Maze-Foley, K., & Rosel, P. E. (2010). US Atlantic and Gulf of Mexico marine mammal stock assessments--2010. *NOAA Tech Memo NMFS NE*, 219(598), 02543-1026.
- Wells, R. S., Natoli, A. & Braulik, G. (2019). *Tursiops truncatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019.
- Wilkinson, T., Wiken, E., Bezaury Creel, J., Hourigan, T., Agardy, T., Herrmann, H., Janishevski, L., Madden, C., Morgan L. y Padilla, M. (2009). *Ecorregiones marinas de América del Norte*. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal.
- Würsig, B., (2019). *Ethology and Behavioral Ecology of Odontocetes*. Springer, Cham.

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”

www.uv.mx

