

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Ecología Marina**

**Distribución de delfínidos en las unidades de gestión
ambiental de la costa occidental del golfo de México**

Tesis

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

Presenta:

Georgina Castro Proal

Ensenada, Baja California, México
2018

Tesis defendida por
Georgina Castro Proal

y aprobada por el siguiente Comité

Dra. María de la Concepción García Aguilar
Directora de tesis

Miembros del comité
Dra. Paula Pérez Brunius

Dr. Oscar Sosa Nishizaki



Dr. Jorge Adrián Rosales Casián
Coordinador del Posgrado en Ecología Marina

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

Georgina Castro Proal © 2018

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.

Resumen de la tesis que presenta **Georgina Castro Proal** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina.

Distribución de delfínidos en las unidades de gestión ambiental de la costa occidental del golfo de México

Resumen aprobado por:

Dra. María de la Concepción García Aguilar
Directora de tesis

Los cetáceos forman una parte importante de la comunidad marina del golfo de México (GM), pero actualmente se desconoce el efecto de las actividades antropogénicas sobre su distribución en aguas costeras mexicanas. El Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe tiene la finalidad de implementar políticas ambientales dirigidas a la planeación territorial y el control de los impactos ambientales; dentro del programa se delimitaron las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) como una herramienta para la conservación. El objetivo de esta tesis fue evaluar la distribución de los cetáceos en 5 UGAs marinas de la zona costera de la región occidental del GM, desde el centro-sur de Tamaulipas hasta el sur de Veracruz, y su relación con la calidad ambiental. Entre 2015 y 2017 se realizaron 4 muestreos aéreos durante las temporadas de lluvias y secas, y se evaluó la calidad ambiental de las UGAs utilizando indicadores ambientales integrativos. Se registraron 329 individuos pertenecientes a la Familia Delphinidae: *Tursiops truncatus*, *Grampus griseus* y *Globicephala macrhyinchus*, además de estenelas que podrían corresponder a dos especies, *Stenella attenuata* y *S. frontalis*, y un posible avistamiento de *Steno bredanensis*. Debido al bajo número de avistamientos (21) el análisis de la distribución se hizo a nivel de familia. La distribución de los delfínidos no fue diferente entre las temporadas, y fue homogénea entre las UGAs. Esto podría deberse al hecho de haber trabajado a nivel de familia, lo que eliminó las diferencias entre especies. En términos generales, la calidad ambiental de las UGAs aún es buena. La pérdida de vegetación costera es el principal problema en la región, pero debe prestarse atención al desarrollo de la industria de los hidrocarburos. Los resultados sugieren que la diversidad de cetáceos en la costa occidental de GM es relativamente alta (27% de las especies que habitan en el GM) y que usan esta área todo el año.

Palabras clave: delfínidos, cetáceos, distribución, calidad del hábitat, costa, unidades de gestión ambiental, golfo de México, Tamaulipas, Veracruz.

Abstract of the thesis presented by **Georgina Castro Proal** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Marine Ecology.

Delphinids distribution across the environmental management units of the occidental coast from the gulf of Mexico.

Abstract approved by:

Dra. María de la Concepción García Aguilar
Thesis Director

Cetaceans are an important part of the marine community of the Gulf of Mexico, but the effect of anthropogenic activities on their distribution in Mexican coastal waters is currently unknown. The Marine and Regional Ecological Ordinance Program of the Gulf of Mexico and Caribbean Sea has the purpose of implementing environmental policies aimed at territorial planning and the control of environmental impacts; within the program, the Environmental Management Units (UGAs) were defined as a tool for conservation. The objective of this thesis was to evaluate the cetaceans' distribution in 5 marine UGAs of the coastal zone of the western region of the Gulf of Mexico, from south-central Tamaulipas to southern Veracruz, and its relationship with environmental quality. Between 2015 and 2017, four aerial surveys were carried out during the rain and dry seasons, and the environmental quality of the UGAs was assessed using integrative environmental indicators. A total of 329 individuals of the Family Delphinidae were sighted: *Tursiops truncatus*, *Grampus*, *griseus* y *Globicephala macrorhynchus*, as well as stenellas that could correspond to two species, *Stenella attenuata* and *S. frontalis*, and a possible sighting of *Steno bredanensis*. Due to a low number of sightings, the distribution analyses were performed at the family level. The distribution of the delphinids was not different between seasons, and was homogeneous among the UGAs. These results could be explained by the fact that the analyses were carried out at the Family level, which eliminated the differences between species. In general, the environmental quality of the UGAs is still good. The loss of coastal vegetation is the main problem in the region, but attention must be paid to the hydrocarbons industry development. The results suggest that the diversity of cetaceans in the western coast of the Gulf of Mexico is relatively high (27% of the species that inhabit the Gulf of Mexico), and that they use this area year around.

Keywords: delphinids, cetaceans, distribution, habitat quality, coast, environmental management units, Gulf of Mexico, Tamaulipas, Veracruz.

Dedicatoria

A la comunidad científica

A los tomadores de decisiones

A los involucrados en la conservación de los recursos naturales

Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), por permitirme estudiar el posgrado en Ecología Marina. Al Consorcio de Investigadores del golfo de México (CIGoM) por darme la oportunidad de participar en el subproyecto “Caracterización del uso del hábitat pelágico por grandes vertebrados (cetáceos y peces pelágicos)” en calidad de estudiante. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por proporcionarme una beca para continuar mi preparación académica.

A mi directora de tesis Dra. María de la Concepción García Aguilar, por su enorme disponibilidad para despejar cualquier duda, sus valiosas enseñanzas, grandes consejos y todas las experiencias que vivimos en campo.

A mis sinodales: Dra. Paula Pérez Brunius por sus atinados comentarios y recomendaciones, y Dr. Oscar Sosa Nishizaki por el enriquecimiento de este trabajo y por abrirme las puertas de su laboratorio. A todos los miembros de mi comité, muchas gracias por su apoyo extraacadémico y su gran cariño.

A la Dra. Paloma Ladrón de Guevara, M. en C. Rafael Ramírez, Cptán. José Ángel Cabrera, Cptán. Norberto Carreón, Cptán. Maximiliano Carrasco y Cptán. José Luis Julián por participar activamente durante las campañas de muestreo.

A mis queridos profesores Dr. Eric Mellink, Dra. Gisela Heckel, Dr. Jaime Luévano, Dr. Saúl Álvarez, M. en C. Vicente Ferreira† y Dra. Victoria Díaz, por plantear acertijos para impulsarme a buscar más de una respuesta, por todas sus enseñanzas en el aula de clase, en laboratorio o bajo el manto del cielo abierto.

Al laboratorio de ecología pesquera: Carmencita, Cynthia, Doc, Elea, Emi, Felipe, Luz, Masao, Oscar, Rafa, Ricardo y Zuri, por su cariño, miles de risas, la engordadera, las experiencias de campo y por todo su cariño, gracias infinitas por adoptar a este cetáceo en esta gran familia de tiburones.

A la mejor generación: Adán, Adolfo, Ainoa, Aldo, Blanca, Chelo, Cynthia, Gabriel, Gonzalo, José Luis, Leni, Mariana, Pablo, Panchito, Ricardo, Selene y Viri, de cada uno de ustedes me llevo algo único que atesoraré por muchísimo tiempo. Gracias por ser parte de este maravilloso capítulo de mi vida, por el apoyo, la complicidad, la solidaridad, las aventuras, el cariño, cada fiesta, cada abrazo y sobre todo por su amistad. ¡Los quiero machín!

Mi clica enseñadense: Alan, Elena, Fano, Fer, Itzel y Tona, por hacerme sentir en casa con todos sus detalles, su compañía, su apoyo y sobretodo con su cariño.

Por último, pero no menos importante a mis padres, quienes en todo momento me han guiado con sabiduría y cariño, han apoyado mis decisiones y me han impulsado a realizar todos mis sueños. Por todo lo que hacen por mí, por quienes son y todo su amor, mil gracias, son lo mejor, los amo.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	ix
1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.1.2 El golfo de México.....	2
1.1.3 Diversidad de cetáceos en el golfo de México.....	4
1.1.4 Protección de los mamíferos marinos.....	6
1.1.5 Factores antropogénicos que afectan a los cetáceos del golfo de México.....	7
1.1.5.1 Efectos de la exploración y explotación de hidrocarburos en los cetáceos.....	8
1.1.5.2 Tráfico marítimo.....	9
1.1.5.3 Interacción con pesquerías.....	10
1.1.5.4 Pérdida de hábitats terrestres y contaminación de los ríos.....	11
1.1.6 Ordenamiento ecológico del golfo de México.....	12
1.2 Justificación.....	14
1.3 Hipótesis.....	15
1.4 Objetivos.....	15
1.4.1 Objetivo general.....	15
1.4.2 Objetivos específico.....	15
2. Metodología.....	16
2.1 Área de estudio.....	16
2.2 Distribución de cetáceos en las Unidades de Gestión Ambiental.....	17
2.2.1 Trabajo de campo.....	17
2.2.2 Análisis de datos.....	19
2.3 Caracterización de la calidad ambiental en las Unidades de Gestión Ambiental.....	20

3. Resultados	25
3.1 Distribución de cetáceos en las Unidades de Gestión Ambiental.....	25
3.2 Caracterización de la calidad ambiental en las Unidades de Gestión Ambiental costeras y relación con la distribución de cetáceos.....	30
3.2.1 Indicadores del EI1 Modificación de la línea de costa.....	30
3.2.2 Indicadores del EI2 Uso de recursos.....	31
3.2.3 Indicadores del EI3 Calidad ambiental.....	33
4. Discusión	39
4.1 Tasa de encuentro y limitaciones del muestreo.....	39
4.2 Distribución de cetáceos en las Unidades de Gestión Ambiental y relación con la calidad ambiental.....	40
4.3 Ordenamiento ecológico del golfo de México y conservación de mamíferos marinos.....	44
5. Conclusiones	46
Literatura citada	47
Anexos	58

Lista de figuras

	Página
Figura 1. Golfo de México y delimitación de las Zonas Económicas Exclusivas de Estados Unidos, México y Cuba. Modificado de Valenzuela (2010).....	3
Figura 2. Mapa general del Área Sujeta a Ordenamiento (ASO) del golfo de México dividida en Unidades de Gestión Ambiental (UGA). Tomado de D.O.F. 24-11-2012.....	14
Figura 3. Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México que comprenden el área de estudio.....	18
Figura 4. Esfuerzo de muestreo en la costa oeste del golfo de México. La línea marca los límites de las unidades de gestión ambiental incluidas en este estudio. (a) agosto de 2015, (b) marzo de 2016, (c) agosto de 2016, y (d) febrero 2017.....	26
Figura 5. Avistamientos de cetáceos en la temporada de lluvias (agosto) de 2015. Las líneas punteadas representan los límites de las unidades de gestión ambiental. T.t. = <i>T. truncatus</i> , G.g. = <i>G. griseus</i> , G.m. = <i>G. macrorhynchus</i> , NI = delfín no identificado (posible <i>S. bredanensis</i>).....	27
Figura 6. Avistamientos de cetáceos en la temporada de secas (marzo) de 2016. Las líneas punteadas representan los límites de las unidades de gestión ambiental. T.t. = <i>T. truncatus</i> , St. = <i>Stenella</i> sp.....	27
Figura 7. Avistamientos de cetáceos en la temporada de lluvias (agosto) de 2016. Las líneas punteadas representan los límites de las unidades de gestión ambiental. T.t. = <i>T. truncatus</i> , G.g. = <i>G. griseus</i>	28
Figura 8. Avistamientos de cetáceos en la temporada de secas (febrero) de 2017. Las líneas punteadas representan los límites de las unidades de gestión ambiental. T.t. = <i>T. truncatus</i> , St. = <i>Stenella</i> sp., NI = delfín no identificado.....	28
Figura 9. Puntaje de elección de cetáceos en las Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México durante las temporadas de lluvias y secas, 2015-2017.....	29
Figura 10. Valores observados y esperados del número de individuos en las Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México, 2015-2017.....	29
Figura 11. Puntaje de elección en las Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México. Los números sobre las barras son los valores del uso. **valores significativos.....	30

Lista de tablas

	Página
Tabla 1. Diversidad de cetáceos del golfo de México. ¹ avistamiento ocasional; ² especies reportadas solamente por varamientos en el litoral mexicano; ³ especies avistadas en aguas mexicanas.....	5
Tabla 2. Descripción de las Unidades De Gestión Ambiental (UGAs) de la costa oeste del golfo de México que componen el área de estudio.....	17
Tabla 3. Criterios de clasificación para EII1 Modificación de la línea de costa. Tomado y modificado de Aubrey y Elliott (2006).....	23
Tabla 4. Criterios de clasificación para EII2 Uso de recursos. Tomado y modificado de Aubrey y Elliot (2006).....	23
Tabla 5. Criterios de clasificación para EII3 Calidad ambiental. Tomado y modificado de Aubrey y Elliot (2006).....	24
Tabla 6. Interpretación de los valores numéricos (v) de los Indicadores Ambientales Integrativos (EII).....	24
Tabla 7. Longitud muestreada en kilómetros (L), número de animales registrados (f) y tasa de encuentro (TE, ind/10km) en las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) de la costa oeste del golfo de México, durante las cuatro campañas de muestreo.....	25
Tabla 8. Principales asentamientos humanos, longitud de la costa impactada por desarrollo industrial y urbano (DIU), y longitud de la costa impactada por desarrollo turístico y recreativo (DTR) en las unidades de gestión ambiental (UGAs) de la costa oeste del golfo de México.....	32
Tabla 9. Plantas municipales de tratamiento de aguas residuales consideradas con descargas directas al mar.....	33
Tabla 10. Niveles de demanda química de oxígeno (DQO) determinados para 10 sitios de la zona costera del área de estudio en 2015.....	33
Tabla 11. Concentración de coliformes totales (NMP/100 ml) reportada para 12 sitios de muestreo costeros del área de estudio.....	34
Tabla 12. Concentración de cadmio (mg/L) reportados para 1 sitios de muestreo del área de estudio.....	34
Tabla 13. Clasificación de los indicadores de la modificación de la línea de costa (EII1), uso de recursos (EII2) y de la calidad ambiental (EII3) en las Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México Los indicadores y la explicación de la clasificación se encuentran en las tablas 3, 4 y 5.....	36
Tabla 14. Resumen de respuestas de nueve investigadores participantes en la encuesta y cálculo del valor ponderado de los indicadores de cada Indicador Ambiental Integrativo (EII). DE = desviación estándar.....	37

Tabla 15. Clasificación de los Indicadores Ambientales Integrativos (EII) en las Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México..... 38

1. Introducción

El golfo de México (GM) alberga una alta diversidad biológica, donde los mamíferos marinos son parte de la fauna en ambientes costeros y oceánicos (Würsig, 2017). Históricamente, en las aguas del GM habitaban 30 especies de mamíferos marinos pertenecientes a los órdenes Carnivora, Sirenia y Cetacea (Würsig, 2017). La foca monje del Caribe (*Neomonachus tropicalis*), perteneciente al Orden Carnivora, se distribuyó en la costa sureste del GM y en el mar Caribe, pero en la década de 1950 se extinguió como consecuencia de la cacería (Allen, 2004; Scheel et al., 2014). El manatí antillano (*Trichetus manatus manatus*) es el único representante del Orden Sirenia. Habita en sistemas ribereños y costeros en la zona costera del Atlántico occidental tropical y subtropical, de las Bahamas a Brasil, incluido el GM y el mar Caribe (Vianna et al. 2006). El orden con mayor diversidad es el de los cetáceos: hasta la fecha se han confirmado avistamientos de 21 especies del Suborden Odontoceti (cetáceos dentados) y siete del Suborden Mysticeti (ballenas) (Würsig, 2017).

Diversas variables biológicas, fisiográficas y antropogénicas influyen en la diversidad y distribución de los cetáceos (Jaquet, 1996; Baumgartner et al., 2001; Azeelino et al., 2008). Las variables biológicas incluyen las interacciones intra e interespecíficas, así como la disponibilidad y abundancia de presas (Vázquez-Castán et al. 2007; Martínez-Serrano et al., 2011). Dentro las variables fisiográficas, la profundidad de fondo es la que tiene mayor influencia en la distribución de los cetáceos (Baumgartner et al., 2001; Davis et al. 2002; Cechetti, 2006). Finalmente, aun cuando los cetáceos han desarrollado cierta tolerancia a la presencia humana, las actividades antropogénicas pueden alterar su distribución (Ballance et al., 2006; Morteo et al., 2012).

El GM es un ecosistema marino sometidos a distintos grados y tipos de presiones ambientales, ya que se desarrollan continuamente diversas actividades económicas, entre las que destacan las pesquerías, la actividad portuaria, y la exploración y extracción de gas e hidrocarburos (Yañez-Arancibia y Day, 2004; De la Maza y Bernárdez, 2004). En respuesta a esta problemática ambiental, el gobierno mexicano estableció en 2012 el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe, delimitando las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) como una herramienta para el desarrollo sustentable y la conservación (D.O.F. 24-11-2012). En esta tesis se analizó la distribución de los cetáceos en las unidades de gestión ambiental ubicadas en la costa occidental del GM, y se evaluó la calidad ambiental de las UGAs en términos de las principales actividades productivas que se desarrollan en la zona.

1.1 Antecedentes

1.1.2 El golfo de México

El GM es una cuenca oceánica semicerrada conectada al océano Atlántico por el estrecho de Florida y con el Mar Caribe a través del canal de Yucatán (Day et al., 2004). Se encuentra delimitado al oeste, sur y sureste por el litoral mexicano, al norte y noroeste por Estados Unidos, y al este por Cuba (Day et al., 2004), convergiendo las aguas territoriales de estos tres países, delimitadas por sus Zonas Económicas Exclusivas (ZEE), que se utilizan con fines de exploración y explotación, conservación y administración de los recursos naturales, según los planes de manejo establecidos por las jurisdicciones nacionales (Fig. 1) (Zárate-Lomelí et al., 2004). A nivel mundial, el GM es el noveno cuerpo de agua de mayor volumen, cubriendo una superficie de 1'157,639 km², con una profundidad promedio de 1,615 m y máxima de aproximadamente 4,400 m (Mendenssohn et al., 2017). El margen litoral, desde Florida hasta la península de Yucatán, abarca aproximadamente 5,700 km, con otros 380 km de costa noroeste en Cuba (Mendenssohn et al., 2017). El litoral mexicano del GM, que incluye los estados de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán, tiene una extensión de 7,670 km, incluyendo los márgenes de lagunas, estuarios, desembocaduras y barreras marinas (D.O.F. 24-11-2012).

Las regiones poco profundas e intermareales (< 20 m de profundidad) representan el 11% de la cuenca del GM, mientras que las plataformas, laderas y zonas abisales comprenden el 25%, 38% y 26%, respectivamente (Mendenssohn et al., 2017). Un rasgo característico del GM es el ancho de la plataforma continental, que es prominente en las penínsulas de la Florida y Yucatán, con aproximadamente 300 km y 370 km de anchura máxima, respectivamente (Aguirre-Gómez, 2004; Lara-Lara et al., 2008). El ancho de la plataforma continental decrece ligeramente en la parte norte, cerca de las costas de Texas, Luisiana, Misisipi y Alabama, y es muy angosta en la pendiente occidental en las costas de Tamaulipas y Veracruz, con menos de 50 km de ancho (Aguirre-Gómez, 2004; Lara-Lara et al., 2008).

Una característica importante del GM son los estuarios que han formado grandes deltas en las desembocaduras de los ríos, aportando importantes escurrimientos de aguas continentales hacia la costa (De la Maza y Bernárdez, 2004; Lara-Lara et al., 2008). Estos escurrimientos han moldeado la geomorfología de la costa, que se caracteriza por presentar llanuras costeras planas con diversos ambientes marinos como lagunas, manglares, praderas de pastos marinos y arrecifes coralinos (De la Maza y Bernárdez, 2004; Lara-Lara et al., 2008). La superficie de escurrimientos continentales es de 5'180,000 km². El río Misisipi y otros ríos proporcionan agua dulce rica en nutrientes, drenando alrededor de dos

tercios de la cuenca continental de Estados Unidos y la mitad de la de México. (Lara-Lara et al., 2008; Würsig, 2017). El mayor aporte de aguas continentales ocurre en la temporada de “lluvias”, que abarca de junio a octubre donde se suscitan depresiones tropicales, a lo que le sigue un periodo de frentes fríos o “nortes” de octubre a febrero, y un periodo de “secas” de febrero a mayo (Wiseman y Sturges, 1999).

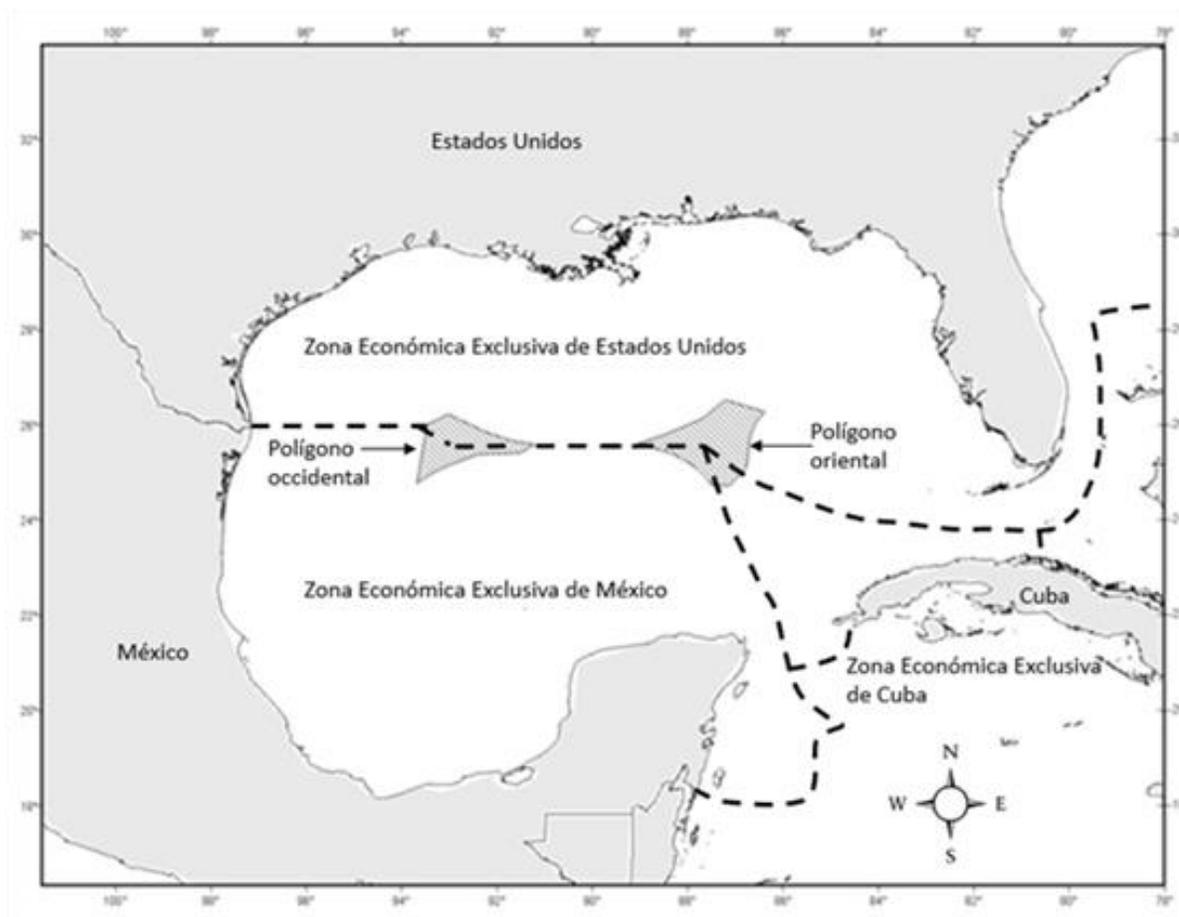


Figura 1. Golfo de México y delimitación de las Zonas Económicas Exclusivas de Estados Unidos, México y Cuba. Modificado de Valenzuela (2010).

Debido a su ubicación latitudinal, el GM es un ecosistema marino que presenta mezclas de características ecológicas de ambientes tropicales y templados (De la Maza y Bernárdez, 2004). La dinámica entre la atmósfera y el océano, así como la complejidad fisiográfica, que juega un papel importante en los patrones de circulación de las aguas costeras, hacen del GM un sistema ambientalmente heterogéneo de gran riqueza de formas de vida (Moreno-Casasola, 2016). La circulación del GM puede aproximarse a un sistema de dos capas, con una capa superficial de hasta 1,000 m de profundidad y una capa inferior que

alcanza el fondo del océano a profundidades de aproximadamente 4,000 m (Lugo-Fernández y Green, 2011). Los patrones de circulación son el resultado de complejas interacciones entre la batimetría y los mecanismos de forzado, tales como el viento, las condiciones atmosféricas, la densidad del agua (temperatura y salinidad) la corriente de lazo y los remolinos (Mendenssohn et al., 2017).

La corriente del Lazo es un sistema de circulación en forma de herradura que ingresa al GM desde el Caribe a través del Canal de Yucatán, y sale por el Estrecho de Florida (Mendenssohn et al., 2017). Su gran inercia genera condiciones energéticas que influyen en los patrones de circulación al interior del GM. El agua que ingresa a través de dicha corriente presenta una mayor temperatura y concentración de sales que las aguas del GM. La ubicación de la corriente de Lazo es variable, y a medida que se desplaza hacia el norte se desprenden remolinos anticiclónicos de núcleos cálidos, que se mueven lentamente hacia el oeste e interactúan con remolinos ciclónicos de núcleos fríos. Las áreas entre los remolinos fríos y cálidos tienen niveles elevados de clorofila, una mayor productividad y biomasa que múltiples especies, incluyendo a los cetáceos, utilizan como zonas de alimentación (Mendenssohn et al., 2017; Würsig, 2017).

De acuerdo con los patrones de circulación, la plataforma continental oeste del GM se divide en tres regiones: la región Texas-Luisiana, la región Tamaulipas-Veracruz y el oeste del banco de Campeche (Zavala-Hidalgo et al., 2003). En la región Tamaulipas-Veracruz (26°N a 19°N) las corrientes se extienden hacia el sur de septiembre a marzo y hacia el norte de mayo a agosto; los períodos de transición son de finales de marzo a abril y de finales de agosto a septiembre (Zavala-Hidalgo et al., 2003). Durante el otoño y el invierno, el agua de baja salinidad de los ríos Misisipi y Atchafalaya fluye desde la región Texas-Luisiana hacia Tamaulipas-Veracruz; durante el verano, el agua de la región Tamaulipas-Veracruz se advecta en la región Texas-Luisiana. En el banco de Campeche, la circulación de baja frecuencia sube durante todo el año (Zavala-Hidalgo et al., 2003).

1.1.3 Diversidad de cetáceos en el golfo de México

En el GM, desde la plataforma continental hasta aguas profundas, habitan al menos 22 especies de cetáceos (Tabla 1). Los odontocetos son el grupo más diverso: 14 especies de la Familia Delphinidae (delfines y afines), 4 de la Familia Ziphiidae (zifidos o ballenas picudas), 2 de la Familia Kogiidae (cachalotes enanos y pigmeos) y una de la Familia Physetiridae (cachalote). Respecto a los mysticetos, solamente existe una población residente de rorcual tropical (*Balaenoptera edeni*) en la parte norte del GM, aunque otras

seis especies se han avistado ocasionalmente (Jefferson y Schiro, 1997). La profundidad es la variable física con mayor influencia en la distribución de los cetáceos (Baumgartner et al., 2001; Davis et al., 2002). En la región Tamaulipas-Veracruz, el banco de Campeche y la plataforma de Yucatán se han reportado tres especies: la tonina (*Tursiops truncatus*), el delfín moteado del Atlántico (*Stenella frontalis*), y el delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*) (Ortega-Ortiz, 2002). La tonina tiene un amplio espectro de distribución, encontrándose en lagunas costeras, desembocadura de ríos, zona litoral, nerítica y oceánica (hasta 750 m de profundidad) (Martínez-Serrano et al., 2011; Delgado- Estrella, 2002). El delfín moteado del Atlántico habita preferentemente en aguas con profundidades de entre 20 y 200 m, pero ha sido observado ocasionalmente en aguas abiertas cerca del margen continental (Mullin y Hansen, 1999). El delfín de dientes rugosos habita las aguas tropicales de todo el mundo, en zonas poco profundas que no sobrepasan los 100 m de profundidad (Würsig, 2017).

Tabla 1. Diversidad de cetáceos del golfo de México. ¹Avistamiento ocasional; ²especies reportadas solamente por varamientos en las costas mexicanas; ³especies avistadas en aguas mexicanas. Referencias: Collum y Fritz (1985), Jefferson y Lynn (1994), Davis y Fargion (1996), Delgado-Estrella y Villa (1998), Davis et al. (2000), Davis et al. (2002), Fulling et al. (2003), Mulling y Fulling (2004), Ortega-Ortiz (2002), Ortega-Argueta et al. (2005), Galindo et al. (2009), Vázquez-Castán et al. (2009), Waring et al. (2016).

Suborden	Familia	Nombre científico	Nombre común
Mysticeti	Balaenidae	<i>Eubalaena glacialis</i> ¹	Ballena franca del Atlántico norte
	Balaenopteridae	<i>Balaenoptera acutorostrata</i> ¹	Rorcual minke
		<i>Balaenoptera borealis</i> ¹	Rorcual sei
		<i>Balaenoptera edeni</i>	Rorcual tropical
		<i>Balaenoptera musculus</i> ¹	Ballena azul
		<i>Balaenoptera physalus</i> ¹	Rorcual común
		<i>Megaptera novaeangliae</i> ^{1,2}	Ballena jorobada
Odontoceti	Physeteridae	<i>Physeter macrocephalus</i> ³	Cachalote
	Kogiidae	<i>Kogia breviceps</i> ²	Cachalote pigmeo
		<i>Kogia sima</i> ²	Cachalote enano
	Ziphiidae	<i>Mesoplodon bidens</i>	Zifio de Sowerby
		<i>Mesoplodon densirostris</i>	Zifio de Blainville
		<i>Mesoplodon europaeus</i>	Zifio de Gervais
		<i>Ziphius cavirostris</i>	Zifio de Cuvier
		<i>Feresa attenuata</i> ²	Orca pigmea
	Delphinidae	<i>Globicephala macrorhynchus</i> ³	Calderón tropical
		<i>Grampus griseus</i> ³	Delfín de Risso
		<i>Lagenodelphis hosei</i>	Delfín de Fraser
		<i>Orcinus orca</i>	Orca
		<i>Peponocephala electra</i>	Delfín cabeza de melón
		<i>Pseudorca crassidens</i> ³	Orca falsa
		<i>Stenella attenuata</i> ³	Delfín moteado pantropical
		<i>Stenella clymene</i> ³	Delfín Clymene
		<i>Stenella coeruleoalba</i> ²	Delfín listado
		<i>Stenella frontalis</i> ³	Delfín moteado del Atlántico
		<i>Stenella longirostris</i>	Delfín tornillo
		<i>Steno bredanensis</i> ³	Delfín de dientes rugosos
<i>Tursiops truncatus</i> ³		Tonina	

La mayoría de los cetáceos del GM habitan en el talud continental y aguas abiertas con profundidades >200 m, asociadas a zonas con una mayor productividad (Davis et al., 2002, Ortega-Ortiz, 2002). Como es el centro de los remolinos ciclónicos; donde ocurre el transporte vertical de nutrientes hacia la superficie y que quedan atrapados en el centro del mismo (Mahadevan et al., 2008). En cambio, la productividad de los remolinos anticiclónicos se concentra en la periferia debido al acarreo de corrientes con alto contenido de nutrientes y clorofila (McGillicuddy, D. J., Jr. 2016). Sin embargo, en el GM la concentración de clorofila y biomasa contenida en un remolino ciclónico es ligeramente mayor a la de un remolino anticiclónico (Pasqueron de Fommervault et al., 2017). Por otra parte, la confluencia entre remolinos ciclónicos y anticiclónicos pueden transportar aguas desde la plataforma continental con altos contenidos de clorofila hacia mar abierto (Biggs y Müller-Karger, 1994).

La orca pigmea (*Feresa attenuata*), el delfín de cabeza de melón (*Peponocephala electra*) y la orca falsa (*Pseudorca crassidens*) habitan los océanos tropicales y templados cálidos, distribuyéndose en aguas >200 m de profundidad, mientras que el delfín de Fraser (*Lagenodelphis hosei*) se distribuye en aguas de 200 m a 600 m de profundidad (Würsig, 2017). El delfín tornillo (*Stenella longirostris*) y el delfín moteado pantropical (*S. attenuata*) suelen habitar la parte alta del talud, en profundidades entre 200 y >1000 m (Würsig, 2017). El delfín de Risso (*Grampus griseus*) y el calderón tropical (*Globicephala macrorhynchus*) habitan preferentemente en el margen continental, en profundidades de hasta 750 m (Baumgartner et al., 2001). El cachalote (*Physeter macrocephalus*), el cachalote pigmeo (*Kogia breviceps*), el cachalote enano (*K. sima*), las ballenas picudas (*Ziphus cavirostris* y *Mesoplodon* spp.), el delfín listado (*S. coeruleoalba*) y el delfín de Clymene (*S. clymene*) se distribuyen en la parte baja del talud continental a profundidades >1000 m (Davis et al., 1998; Baumgartner et al., 2001; Davis et al., 2002).

1.1.4 Protección de los mamíferos marinos

En 1982 la Comisión Ballenera Internacional (IWC por sus siglas en inglés) promulgó una moratoria total para la caza comercial de cetáceos aplicable a partir de 1986 y que aún continúa (IWC, 2017). Todas las especies de cetáceos están incluidas en el Apéndice II de la Convención Internacional para el Tráfico de Especies de Flora y Fauna Silvestres (CITES por sus siglas en inglés), y ocho especies reportadas o que habitan en el GM (todos los misticetos y el cachalote) están incluidas en el Apéndice I (CITES, 2017). En México, a partir de 2001 todas las especies de cetáceos fueron incluidas en la NOM-059-SEMARNAT, por lo que son especies protegidas en todas las aguas territoriales y patrimoniales de México (D.O.F. 06-03-

2002), y el código penal federal promulga sanciones a quien ilícitamente los capture, dañe o prive de la vida, o bien recolecte o almacene de cualquier forma sus productos y subproductos (PROFEPA, 2017).

1.1.5 Factores antropogénicos que afectan a los cetáceos del golfo de México

El GM es uno de los ecosistemas más productivos económicamente en América del Norte. La pesca y el turismo generan ganancias billonarias, pero la explotación de hidrocarburos (gas y petróleo) es la principal actividad (Karnauskas et al., 2013; Shepard et al., 2013). El subsuelo del GM es uno de los territorios más promisorios para la industria del petróleo y gas (Vera Vázquez, 2015). México ocupa el octavo lugar mundial en producción de hidrocarburos y el sexto en producción de gas natural (Villanueva Sierra, 2015), y más del 70% de las reservas probadas de crudo y 45% de gas natural se ubican en regiones marinas del GM (PEMEX, 2015). En la actualidad la región de mayor actividad en aguas mexicanas del GM se localiza en el banco de Campeche, seguida por la zona costera de los estados de Tamaulipas y Veracruz (CNIH, 2017). Respecto a la actividad pesquera, el litoral del GM y Caribe aporta el 26% de la producción pesquera nacional, siendo el ostión (*Crassostrea virginica* y *C. rizhophorae*), el pulpo (*Octopus maya* y *O. vulgaris*) y el camarón (principalmente *Farfantepenaeus aztecus*) las principales especies sujetas a aprovechamiento (cada una con una producción >20,000 ton/año) (SAGARPA, 2012). El GM es además un área crítica para el transporte marítimo mexicano: seis de los 16 puertos incluidos en el Sistema Portuario Nacional se localizan en los estados de Tamaulipas (puertos de Altamira y Tampico), Veracruz (puertos de Tuxpan, Veracruz y Coatzacoalcos) y Tabasco (puerto de Dos Bocas) (SCT, 2017).

En la región terrestre, la actividad ganadera y agrícola genera grandes ganancias. El estado de Veracruz ocupa el primer lugar nacional en la producción de carne bovina, segundo en la de ave y tercero la ovina, lo que lo coloca como el hato ganadero más grande del país; también ocupa el primer lugar en la producción de caña de azúcar, naranja, piña, papaya y chayote (Gaceta Oficial-Órgano de Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave 20-06-2017). Finalmente, la actividad turística en el litoral del GM (desde Tamaulipas hasta Yucatán) aporta el 17% de la producción bruta de las entidades mexicanas con litoral (INEGI, 2015).

Las principales amenazas para los cetáceos relacionadas a estas actividades incluyen la contaminación química y acústica, las colisiones con embarcaciones y la mortalidad incidental en artes de pesca (Würsig,

2017). Otras amenazas potenciales para los cetáceos que habitan en la zona costera son la pérdida de hábitats terrestres, y la disminución del caudal y contaminación de los ríos (Ortega-Ortiz et al., 2004).

1.1.5.1 Efectos de la exploración y extracción de hidrocarburos en los cetáceos

El contacto directo con compuestos de petróleo puede causar irritación de la piel, quemaduras químicas e infecciones, mientras que su ingestión puede causar lesiones en el tracto gastrointestinal, afectando la capacidad para digerir o absorber alimentos (Geraci, 1990). La absorción de estos compuestos puede dañar la función renal, hepática y cerebral, además de causar supresión inmune y anemia, y su inhalación puede irritar o dañar el tracto respiratorio (Geraci, 1990). Debido a que los mamíferos marinos se encuentran en los niveles superiores de la trama trófica, pueden bioacumular y biomagnificar las partículas contaminantes a nivel tisular, que incluso son transferidas a las crías en la lactancia (Kannan et al., 1997; Mössner y Ballschmiter, 1997). En el norte del GM, la presencia de compuestos organoclorados en toninas se correlacionó con el déficit del sistema inmune (Kuehl y Haebler, 1995; Salata et al., 1995, Lahvis et al. 1995), incrementando su vulnerabilidad ante múltiples agentes patógenos, como *Brucella sp.*, causante de abortos en cetáceos (Colegrove et al., 2016).

En abril de 2010 la plataforma petrolera Deepwater Horizon (DWH), localizada a 70 km al sureste del delta del Misisipi, explotó ocasionando el mayor derrame de petróleo en la historia del GM. Posterior al derrame y con base en la alta ocurrencia de varamientos de cetáceos, se declaró un evento de mortalidad inusual en el norte del GM (NOAA, 2015). El límite espacial abarcó desde la frontera entre Texas y Luisiana hasta el condado de Franklin, Florida, y la ventana temporal entre mayo de 2010 y julio de 2014, periodo durante el cual más de 1,100 cetáceos se vararon (95% fueron varamientos de animales muertos) (NOAA, 2015). La tasa promedio de encuentro de cadáveres está subestimada (2%) por lo que el número de individuos que mueren por causas naturales y antropogénicas puede ser alto (Williams et al., 2011). Por ejemplo, tras 7 meses del derrame de la plataforma DWH se recuperaron únicamente 101 cadáveres (principalmente de toninas) por lo que se calcula que 5,050 individuos murieron en ese periodo, sin embargo, aún no se ha determinado cuántos individuos de cada población estuvieron realmente expuestos al derrame (Williams et al., 2011).

Estudios *post mortem* detectaron altas concentraciones de hidrocarburos a nivel multiorgánico en toninas (Litz et al., 2014), y en animales vivos residentes de la bahía Barataria, Luisiana, se identificaron

enfermedades pulmonares y suprarrenales, sugiriéndose como causa probable la exposición a los productos de petróleo (Colegrove et al., 2016). El incidente de DWH es el mayor derrame de petróleo ocurrido en el GM, pero entre 1970 y 2015 ocurrieron otros 19 derrames importantes asociados a la explosión de plataformas (5), accidentes de buques tanque y barcasas (10), y averías en pozos y oleoductos (4) (Vera-Vázquez, 2015).

Otra posible amenaza para los cetáceos asociada a la extracción de hidrocarburos es la exploración ecográfica usada para detectar la presencia de yacimientos. Esta práctica se lleva a cabo mediante emisiones de ondas de baja frecuencia emitidas con émbolos o pistolas de aire comprimido. Las ondas descienden a través de la columna de agua hacia el lecho marino, reflejándose nuevamente hacia la superficie, donde son captadas e interpretadas por múltiples hidrófonos. Las ondas suelen producir sonidos de alta intensidad, y se ha sugerido que pueden provocar efectos negativos en los cetáceos y sus presas (Richardson et al., 1990; Goold y Fish, 1998).

1.1.5.2 Tráfico marítimo

Siete de los 10 puertos con mayor tráfico en Estados Unidos se localizan en el GM (Shepard et al., 2013). En Florida laboran 9 puertos, uno en Alabama, 4 en Misisipi, 11 en Luisiana, y 13 en Texas (WPS, 2017). El puerto de South Luisiana, ubicado entre Baton Rouge y New Orleans, es el más importante del Hemisferio Occidental y el noveno más grande del mundo (Shepard et al., 2013). En el litoral mexicano, entre enero de 2015 y diciembre de 2016 los puertos de Altamira, Tampico, Tuxpan, Veracruz y Dos Bocas recibieron en conjunto ca. 6,500 buques (SCT, 2016). El aumento del tránsito marino produce perturbaciones en el ambiente que potencialmente pueden afectar a las especies de cetáceos tanto de las zonas costeras como de las oceánicas (Nowacek et al., 2001). Aunque muchos cetáceos parecen haberse habituado a ciertos niveles de tráfico marítimo, las evidencias muestran que puede causar alteraciones severas en su comportamiento, causar heridas graves e incluso provocar su muerte (Nowacek et al., 2001; Constantine et al., 2004; Morteo et al., 2012; Morteo et al., 2014; Waring, 2016). En términos generales, las especies de cetáceos grandes son las que más colisionan con los barcos, principalmente los rorcuales comunes, seguidos por las ballenas francas (*Eubalaena glacialis* y *E. australis*), las ballenas jorobadas, los cachalotes y las ballenas grises (*Eschrichtius robustus*) (Laist et al. 2001). En algunas áreas de la costa este de Canadá y Estados Unidos, un tercio de los varamientos de rorcuales comunes y de ballenas francas del norte (*E.*

glacialis) ocurridos durante la década de 1990 mostraron signos de colisión con embarcaciones (Laist et al. 2001).

En el caso del GM, tras la evaluación de las respuestas específicas de comportamiento de las toninas al tráfico de embarcaciones en las costas de Florida se observó que los individuos prolongaron los intervalos de interrespiración (Nowacek et al., 2001). A pesar del intenso tráfico marítimo, los incidentes de colisiones son extremadamente bajos. Entre 2009 y 2013 se reportó la muerte de un rorcual tropical con signos de impacto con una embarcación en Tampa, Florida (Waring, 2016). Para el mismo periodo, se registraron 23 toninas muertas en algunas bahías y esteros del norte del GM con signos de colisión, aunque es posible que las heridas hayan sido post-mortem (Waring, 2016). En años recientes no se han registrado este tipo de incidentes con otras especies de cetáceos, aunque existe un reporte de la década de 1990 de un cachalote en la costa de Luisiana con heridas en la superficie dorsal; los estudios post-mortem revelaron como posible causa de la muerte la colisión con una embarcación (Jensen y Silber, 2004).

1.1.5.3 Interacción con pesquerías

En las últimas cuatro décadas se ha puesto mayor atención a la repercusión de las actividades pesqueras sobre las poblaciones de cetáceos, dando pie a numerosos estudios sobre sus interacciones (Northridge, 1992). Las interacciones directas entre las pesquerías y los cetáceos representan una amenaza para la conservación de algunas de sus poblaciones, siendo el mayor problema la captura incidental (Read et al. 2005; Read, 2008). Otro problema sobresaliente es la depredación, donde los cetáceos se alimentan de los peces capturados en las redes o líneas, dañando las artes de pesca, por lo que algunos pescadores les disparan causando graves lesiones e incluso la muerte (Northridge, 1992; Read 2008).

A nivel mundial se estima que la captura incidental ocasiona aproximadamente 650,000 muertes anuales (Read et al., 2005). En el GM, al igual que en el resto de los mares y océanos, los odontocetos pequeños son los más afectados por la captura incidental. En la Zona Económica Exclusiva de Estados Unidos durante la última década, la mortalidad media anual de toninas, independientemente del arte de pesca y la región geográfica, ha sido baja, entre 0.4 ind/año y 1.6 ind/año, excepto en el caso de redes de arrastre (Soldevilla et al., 2015). Sin embargo, estos valores podrían estar subestimados porque no existen programas sistemáticos de observación para algunas pesquerías. El valor más bajo de mortalidad media anual asociada a las redes de arrastre se estimó en 2.3 ind/año para el periodo 2007-2011 en la zona

costera oriental (Florida), mientras que el más alto fue de 88 en la zona costera occidental (Luisiana) (Soldevilla et al., 2015). La mortalidad anual de otras especies de odontocetos (*S. frontalis*, *S. attenuata*, *G. griseus* y *G. macrorhynchus*) se estimó con datos de captura en redes de arrastre para el mismo periodo entre 0.5 ind/año (*G. macrorhynchus*) y 42 ind/año (*S. frontalis*) (Soldevilla et al., 2015). No existe información para especies pequeñas de hábitos oceánicos (e. g., *Kogia* spp.). Respecto a las especies de cetáceos grandes, la mortalidad de cachalotes se considera nula, y la del rorcual tropical se estimó en 0.2 para el periodo 2009-2013 (Waring et al., 2016).

Se han registrado numerosos casos de enmalle y muerte de mamíferos marinos en las artes de pesca utilizadas en aguas mexicanas del GM (Ortega-Ortiz et al., 2004). Existen reportes de enmallamiento de delfines pequeños (e. g., tonina, delfín moteado del Atlántico y el delfín moteado pantropical) en redes agalleras, de delfines medianos y grandes (e. g., el delfín de Risso y el calderón tropical) en palangres, y de toninas en redes de arrastre y trampas para cangrejo o langosta (Patiño Valencia et al., 2000; Ortega-Ortiz et al., 2004).

1.1.5.4 Pérdida de hábitats terrestres y contaminación de los ríos

Los ecosistemas costeros del GM poseen una gran riqueza de hábitats, producto de su fisiografía y posición geográfica intertropical, donde ocurren fuertes interacciones entre el medio terrestre y el acuático, dando pie a importantes procesos de producción biológica que dan lugar a la alta biodiversidad y a múltiples cadenas tróficas marinas (Castañeda-López y Contreras-Espinosa, 2003; Lara-Lara et al., 2008; INE-SEMARNAT, 2006). En el litoral mexicano del GM los ecosistemas costeros son los bosques perennifolios, manglares, dunas costeras y humedales (Vera-Castillo, 2003; Berlanga-Robles et al., 2008; Challenger y Soberón, 2008; Calderón et al., 2009). La pérdida de hábitats costeros se debe a las actividades de agricultura y ganadería extensiva. Por ejemplo, los bosques perennifolios abarcaban 17.82 millones de hectáreas del territorio nacional (9.1%), que se ha reducido a 9.47 millones de hectáreas (4.82%) (Vera-Castillo, 2003). Respecto a los manglares, la tasa de pérdida anual de superficie en México es de 2.5%, pero la proyección para un periodo de 25 años revela que la pérdida de estos ecosistemas será de un 50% (Calderón et al., 2009). En la región occidental del GM, la pérdida de humedales se ha calculado en 436,728 ha para el estado de Tamaulipas y 408,884 ha para Veracruz (Landgrave y Moreno-Cassasola, 2012).

Existen múltiples ríos que desembocan a lo largo de la vertiente del GM, cuya importancia ecológica radica en el acarreo de nutrientes de origen continental hacia las aguas costeras. Los ríos más importantes en territorio mexicano son Bravo, Pánuco, San Fernando y Soto la Marina en el estado de Tamaulipas; Cazones, Coatzacoalcos, Jamapa, La Antigua, Nautla, Papaloapan, Tecolutla y Tuxpan en Veracruz; Tonalá, y Grijalva en Tabasco, y Candelaria en Campeche (CONAGUA, 2017). La mayor parte de la Península de Yucatán carece de drenaje superficial, pues se trata de una extensión de poco relieve y sustrato permeable, por lo que casi toda la circulación de agua es subterránea (Rzedowski, 1986). Las poblaciones asentadas en los márgenes de la costa del GM vuelcan sus desechos en los ríos y el océano, con o sin algún tratamiento de saneamiento (Botello et al., 1996), por lo que se han detectado altas concentraciones de bacterias coliformes en la red de agua potable, y en estuarios y ríos que desembocan en las costas del GM (Botello et al., 1996). En las aguas costeras del GM además se ha encontrado la presencia de compuestos orgánicos, metales e hidrocarburos en el agua y los sedimentos de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán (Guzmán et al., 2005). Se ha calculado que alrededor de 95% de los metales transportados por los ríos son acarreados y depositados hacia los márgenes oceánicos (Vázquez-Botello et al., 2004).

1.1.6 Ordenamiento ecológico del golfo de México

Dada la importancia económica del GM, no es sorprendente que este ecosistema esté bajo una creciente presión. Sin embargo, el manejo exitoso del GM es un desafío no solo debido a la amplia gama de impactos antropogénicos, sino también a que el ecosistema es compartido y administrado por tres naciones diferentes; Estados Unidos, México y Cuba (ver Fig. 1).

El ordenamiento ecológico en México se define como una herramienta de política ambiental elaborada con el propósito de regular las actividades productivas que se desarrollan en el territorio mexicano para lograr la protección del medio ambiente mediante el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (D.O.F. 24-11-2012). A partir de 1988, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente incorporó el ordenamiento ecológico marino (OEM) como una herramienta para regular las actividades humanas y revertir el acelerado deterioro de los recursos y ecosistemas marinos (D.O.F. 28-01-1988). El OEM tiene como objetivo regular el manejo integral de las costas mexicanas mediante la conservación del ecosistema, pero sin detener el desarrollo de las principales actividades económicas. Para poner en marcha el OEM es necesario el establecimiento de un plan operativo, denominado Programa de

Ordenamiento Ecológico Marino, cuya finalidad es definir puntos de referencia en la búsqueda de la armonización entre el trabajo académico, las metas del OEM y la gobernanza de los espacios marinos mexicanos (D.O.F. 24-11-2012).

En 2006, el gobierno mexicano presentó la Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de los Océanos y Costas (SEMARNAT, 2006), dando origen años más tarde al Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe (POEMyRGMMyMC), cuyo objetivo es implementar políticas ambientales dirigidas a la planeación territorial, el control de los impactos ambientales y la conservación de la biodiversidad (D.O.F. 24-11-2012). Debido a que las actividades económicas que impactan a las aguas del GM se desarrollan tanto en zonas marinas como terrestres, el Área Sujeta a Ordenamiento (ASO) está integrada por dos regiones: una costero-terrestre que incluye 142 municipios con influencia costera en los estados de Quintana Roo, Yucatán, Campeche, Tabasco, Veracruz y Tamaulipas, y una región marina que comprende la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México y Mar Caribe (Fig. 2). La caracterización del ASO se realizó en función de los atributos naturales, socioeconómicos y sectoriales, así como del potencial natural para su conservación y uso. Posterior a la caracterización se realizó la regionalización del ASO, obteniendo como producto final las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) (D.O.F. 24-11-2012).

Las UGAs representan una herramienta para la conservación y el manejo en sitios sujetos a diferentes tipos de uso (D.O.F. 24-11-2012). El POEMyRGM incluye 203 UGAs clasificadas en terrestres (158), marinas (29) y áreas naturales protegidas (ANP, 43) (Fig. 2). A excepción de las ANPs, la delimitación geográfica de las UGAs se realizó con una combinación de las variables de límites geoestadísticos municipales y cuencas hidrológicas (D.O.F. 24-11-2012). Además de las UGAs, y dado que la franja de aguas marinas con corrientes alineadas a la costa es un espacio que presenta una intensidad de uso mucho mayor que el resto de la corriente costera, se definió la Zona Costera Inmediata (ZCI) como la franja de aguas marinas acotada por el nivel de pleamar en su porción costera y la isobata de los 60 m en su porción marina (D.O.F. 24-11-2012). En esta zona se promueven acciones adicionales que complementan a las acciones definidas para las UGAs terrestres y marinas. La ZCI se dividió en 5 zonas con base en sus características generales y posibilidades de uso: ZCI del mar Caribe (abarca del límite fronterizo México-Belice hasta la isla de Holbox), ZCI del canal de Yucatán (del ANP Yum Balam hasta el ANP los Petenes, Campeche), ZCI de la sonda de Campeche (del ANP los Petenes hasta Laguna de Términos, Campeche), ZCI del sur del golfo de México (de Laguna de Términos al municipio Úrsulo Galván, Veracruz), y ZCI del oeste del golfo de México (de Úrsulo Galván hasta el límite fronterizo México-Estados Unidos) (D.O.F. 24-11-2012).

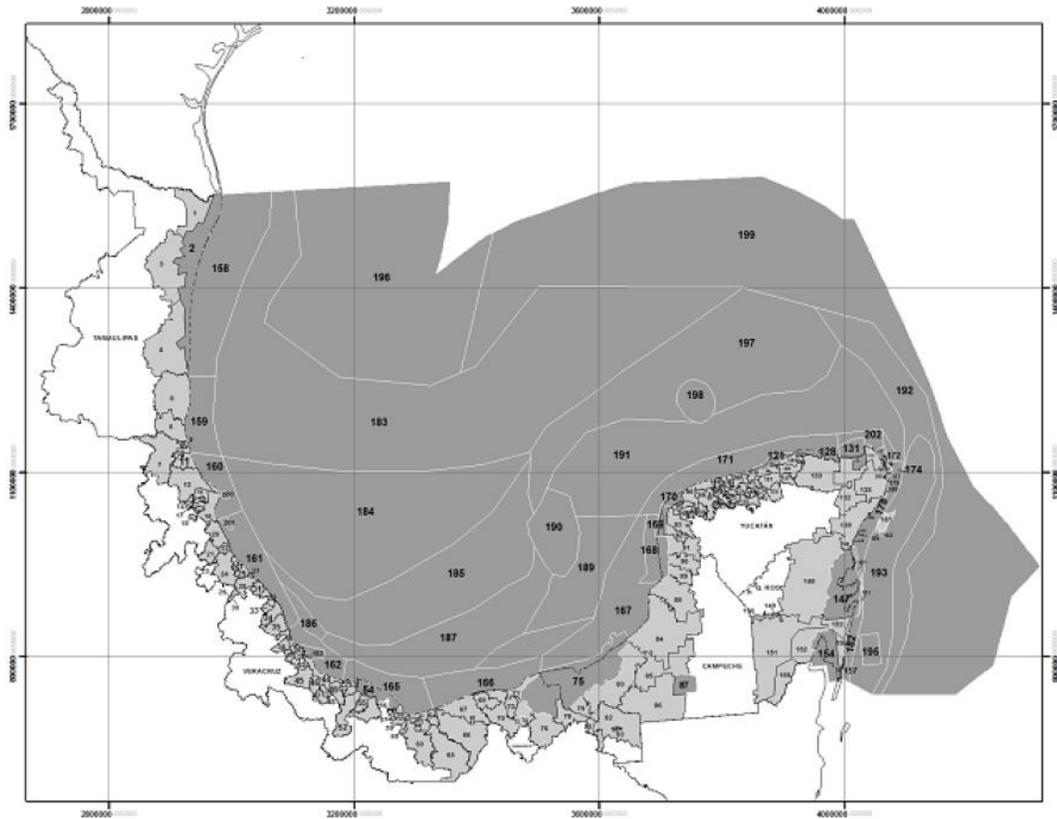


Figura 2. Mapa general del Área Sujeta a Ordenamiento (ASO) del golfo de México dividida en Unidades de Gestión Ambiental (UGA). Tomado de [D.O.F. 24-11-20](#)

1.2 Justificación

Los cetáceos son una parte importante de la comunidad biológica del ambiente marino y la identificación de sus zonas de distribución es necesaria para su manejo y conservación ([Roberts et al., 2016](#)). En México los cetáceos están protegidos en todas las aguas territoriales y patrimoniales, pero en la actualidad enfrentan diversas amenazas debido a la pérdida en la calidad de sus hábitats como consecuencia de la contaminación, extirpación de presas y la degradación del ambiente.

La región occidental del GM es un área de gran importancia económica. Anualmente se generan millones de dólares por la extracción de hidrocarburos (petróleo y gas natural), pero también se desarrollan actividades turísticas, agrícolas, ganaderas y pesqueras, además de ser una zona importante para el transporte marítimo. Esta zona está sujeta al POEMyRGMMyMC, pero actualmente se desconoce el efecto de las actividades antropogénicas sobre la distribución de los cetáceos. En función de lo anterior, en esta

tesis analicé la distribución temporal y espacial de los cetáceos en las UGAs marinas de la zona occidental del GM (región Tamaulipas-Veracruz), y evalué su calidad ambiental con la finalidad de generar información base que servirá para establecer en un futuro estrategias de mitigación ante posibles impactos asociados a las actividades humanas en la región.

1.3 Hipótesis

La distribución de los cetáceos en las unidades de gestión ambiental (UGAs) de la región occidental del golfo de México no es homogénea, localizándose preferentemente en aquellas UGAs que presenten una mayor calidad de hábitat.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la distribución de los cetáceos en las unidades de gestión ambiental de la región occidental del golfo de México y su relación con la calidad del hábitat.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar la distribución de los cetáceos en las UGAs de la región occidental del golfo de México.
2. Evaluar la calidad del hábitat de las UGAs en función de la intensidad de las principales actividades económicas de la región.
3. Determinar la relación de la calidad del hábitat y la distribución de los cetáceos.

2. Metodología

2.1 Área de estudio

El área de estudio se localiza en la costa occidental del golfo de México, en la región Tamaulipas-Veracruz, entre la línea de costa y la isobata de 200 m. Comprende seis UGAs marinas: 159, 160, 161, 162, 164 y 165, y tres ANPs: 163, 200 y 201 ([D.O.F. 24-11-2012](#)) (Tabla 2, Fig. 3). El extremo norte del área de estudio corresponde al límite norte de la UGA 159, ubicada en el centro-sur de Tamaulipas, y el extremo sur corresponde al límite sur de la UGA 165, localizada al sur de Veracruz, cubriendo una superficie total de 25,681 km² (Tabla 2).

La zona costera (de línea de costa hasta la isobata de los 60 m) de las UGAs 159, 160, 161, 200 y 2001 está incluida en la ZCI oeste del golfo de México. La UGA 159 abarca la zona costera de los municipios Aldama, Altamira, Tampico y Ciudad Madero, Tamaulipas. La UGA 160 comprende desde Tampico Alto, Veracruz, hasta el municipio de Tamiahua; el límite entre estas dos unidades es la desembocadura del río Pánuco. La UGA 161 es la más grande, extendiéndose por toda la zona costera de los municipios de Tuxpan hasta Actopan; en esta UGA desembocan los ríos Tuxpan y Cazones al norte, y Tecolutla y Nautla en el centro. Las UGAs 200 y 201 es el ANP de competencia federal Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, polígono Lobos (200) y polígono Tuxpan (201) ([CONANP, 2004](#); [D.O.F. 24-11-2012](#)). La zona costera de las UGAs 162, 163, 164 y 165 forma parte de la ZCI sur del golfo de México. La UGA 162 abarca la zona costera de los municipios de Úrsulo Galván, La Antigua y Alvarado. La UGA 163 es el ANP Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. La UGA 164 corresponde a la zona costera de Veracruz y Boca del Río, y la UGA 165 comprende desde el municipio de Lerdo de Tejada hasta Coatzacoalcos. ([D.O.F. 24-11-2012](#)). Por razones prácticas, la UGA 200 se incluyó como parte de la 160, la 201 dentro de la 161, y las 163 y 164 en la 162.

2.2 Distribución de cetáceos en las Unidades de Gestión Ambiental

2.2.1 Trabajo de campo

Se realizaron cuatro campañas de muestreo entre el verano de 2015 y el invierno de 2016/2017, efectuando dos campañas en la temporada de lluvias (agosto 2015 y 2016), y dos en la de secas (marzo 2016 y febrero 2017). La primera campaña se realizó del 17 al 25 de agosto de 2015 y el área de estudio abarcó desde la UGA 160 hasta la 165. La segunda campaña se realizó del 1 al 11 de marzo de 2016, la tercera del 16 al 28 de agosto de 2016 y la cuarta del 5 al 19 febrero de 2017. A partir de la segunda campaña se incluyó la UGA 159.

Tabla 2. Descripción de las Unidades De Gestión Ambiental (UGAs) de la costa oeste del golfo de México que componen el área de estudio.

UGA	Tipo	Área (km ²)	Longitud de la línea de costa (km)
159	Costera	5,647	115
160 ¹	Costera	3,997	135
161 ²	Costera	6,909	230
162 ³	Costera	3,683	175
165	Costera	5,445	145

¹incluye la UGA 200; ²incluye la UGA 201; ³incluye las UGAs 163 y 164.

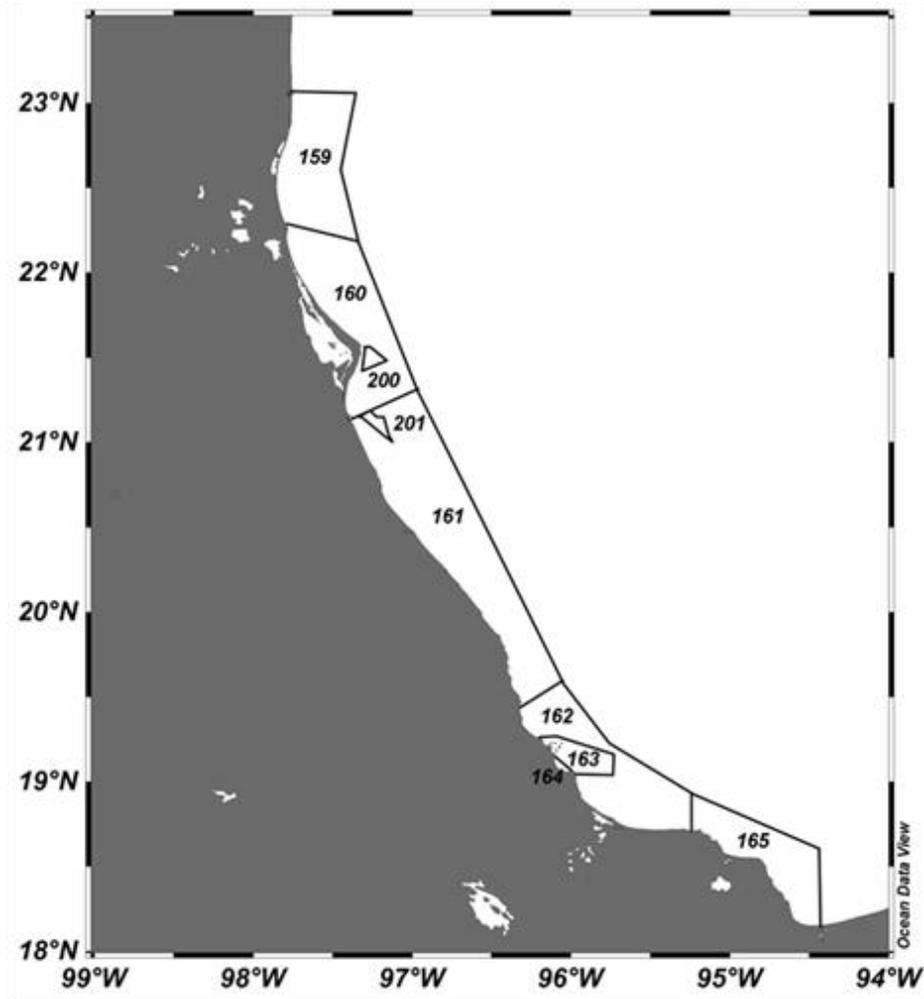


Figura 3. Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México que comprenden el área de estudio.

Dentro del área de estudio hay tres espacios aéreos restringidos (EARs) (SENEAM, 2004): la zona aledaña al aeropuerto de Tampico (al sur de la UGA 159), la central nucleoelectrónica de Laguna Verde (en el extremo sur la UGA 161), y la zona correspondiente al aeropuerto de Veracruz y a la Heroica Escuela Naval Militar ubicada en Antón Lizardo (parte de la UGA 163, y la totalidad de la 164). Se hizo muestreo visual aéreo a través de recorridos no sistemáticos a bordo de avionetas monomotor *Cessna 177* y *182*, volando a una altitud media de 340 ± 48 msnm y velocidad de 196 ± 17 km/h, y respetando los EARs. En cada vuelo participaron tres observadores (dos en la parte posterior de la cabina y uno al frente) y el piloto. Los vuelos se realizaron únicamente bajo condiciones climáticas con buena visibilidad (sin lluvia y/o niebla), y oleaje bajo (Beaufort ≤ 3). Cuando se observó un individuo o grupo de cetáceos se registró la posición con un

GPS Garmin Etrex 10, hora del avistamiento, tamaño de grupo y la especie, con el apoyo de binoculares 10x50 y cámara fotográfica. En los casos en los que no se pudo hacer la identificación a nivel de especie, se utilizó la clasificación de [Davis y Fargion \(1996\)](#): delfines, ballenas pequeñas (no delfines y <7m de longitud) y ballenas grandes (>7m de longitud).

2.2.2 Análisis de datos

A partir de los recorridos grabados en el GPS y utilizando el programa MapSource® (Garmin Ltd) se obtuvo la longitud exacta (en km) recorrida en cada UGA durante cada campaña. Se calculó la tasa de encuentro (ind/10km) como $TE_{ij} = \frac{10 * f_{ij}}{L_{ij}}$, donde f_{ij} es el número total de individuos registrados en la UGA i en la campaña j y L_{ij} es la longitud muestreada en i durante j ([Brown et al. 2016](#)). Se hicieron pruebas de U de Mann-Whitney contrastando la tasa de encuentro (TE) entre las campañas realizadas durante las temporadas de lluvias (i. e., agosto 2015 vs. agosto 2016) y de secas (marzo 2016 vs. febrero 2017). Si la hipótesis nula $H_0: TE_1 = TE_2$ no es rechazada (nivel de significancia 0.05), entonces los datos pueden ser analizados en conjunto.

Se construyeron modelos nulos para evaluar la distribución y uso de hábitat de los cetáceos utilizando el método descrito por [Pledger et al. \(2007\)](#). Para evaluar si existía una diferencia en la distribución temporal de los cetáceos, se calculó un índice de distancia entre las temporadas de lluvias y secas, $D(t, t')$. Para este análisis primero se calculó el puntaje de elección α_i ([Manly, 1974](#); [Manly et al., 1993](#)) en cada UGA y temporada como

$$\alpha_i = \frac{\frac{f_i}{g_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{f_i}{g_i}} \quad (1)$$

donde g_i es la proporción de la distancia muestreada en la UGA i (desde $i = 1$ hasta N) respecto a la longitud total muestreada, es decir, $g_i = \frac{L_i}{L_T}$, y f_i es el número de animales observados en i . Los valores de α_i van de 0 a 1, y es una medida de densidad relativa. El índice de distancia entre temporadas se calculó como

$$D(t, t') = \frac{\sum_{i=1}^N |\alpha_{i, lluvias} - \alpha_{i, sec as}|}{2} \quad (2)$$

Se obtuvo la distribución nula de $D(t, t')$ generando 2,000 valores aleatorios (repeticiones) del estadístico (i. e., psuedovalores de $D(t, t')$) que se contrastaron con el valor observado. El P-valor se obtuvo como (número de psuedovalores mayores que el valor observado + 1)/(número de repeticiones + 1). La hipótesis nula $H_0: D(t, t') = 0$ se rechaza si $P < 0.05$.

Para evaluar la distribución espacial se calculó el índice de disimilitud de Bray-Curtis (DBC)

$$DBC = \frac{\sum_{i=1}^N |f_i - E(f_i)|}{2F} \quad (3)$$

donde $E(f_i)$ es el valor esperado del número de individuos en la UGA i y se obtiene como $E(f_i) = F * g_i$, siendo F el número total de individuos observados, i. e., $F = \sum_{i=1}^N f_i$. Se generaron 2,000 psuedovalores y se siguió el procedimiento descrito en el párrafo anterior. La hipótesis nula $H_0: DBC = 0$ se rechaza si $P < 0.05$. Finalmente se realizó otra prueba para evaluar el uso de cada UGA (S_i) como

$$S_i = \alpha_i - \frac{1}{N} \quad (4)$$

La significancia se evaluó nuevamente generando 2,000 psuedovalores, y la hipótesis nula $H_0: \alpha_i = \frac{1}{N}$ se rechaza si $P < 0.05$.

2.3 Caracterización de la calidad ambiental en las Unidades de Gestión Ambiental

Para evaluar la calidad ambiental es necesario emplear indicadores que sirvan para detectar los cambios en el estado de un ecosistema. Los indicadores son variables específicas, bien definidas y medibles que reflejan el estado de algún componente del ecosistema. Los indicadores deben proporcionar información oportuna sobre el estado del ecosistema y ser lo suficientemente sensibles para proporcionar una alerta

temprana de cambio; además deben ser fácilmente comprendidos y aceptados por científicos, administradores, políticos y partes interesadas (Rombouts, 2013). Los indicadores deben ser seleccionados cuidadosamente en función de las características ecológicas y las actividades humanas que se desarrollan en el ecosistema (Aubry y Elliott, 2006).

Para hacer la caracterización ambiental de las UGAs se siguió el método descrito por Aubry y Elliott (2006). Un indicador ambiental se define como un parámetro cualitativo o cuantitativo que caracteriza la condición actual de un elemento del ambiente (Aubry y Elliott, 2006). En función de los atributos y presiones ambientales identificadas para el área de estudio, se seleccionaron los indicadores para evaluar la calidad ambiental, y se agruparon en tres Indicadores Ambientales Integrativos (EII por sus siglas en inglés): EII1 Modificación de la línea de costa, EII2 Uso de recursos, y EII3 Calidad ambiental (tablas 3 a 5). EII1 proporciona información sobre el nivel de cambio en la zona costera derivado de actividades antropogénicas o de procesos naturales. EII2 describe la intensidad del uso de recursos asociada a las principales actividades humanas responsables de los cambios en la zona costera. EII3 resume el estado del entorno natural evaluando los impactos del cambio ambiental representados en EII1 y EII2.

Los valores de los indicadores (c_i) se categorizaron en cinco clases, que van de “muy alto” nivel de disturbio (o calidad) a “muy bajo” nivel de disturbio (o calidad) (ver tablas 3 a 5). Estos valores se obtuvieron a través de consultas bibliográficas y de bases de datos. Debido a que los indicadores dentro de cada EII representan impactos y cambios que difieren en su naturaleza y gravedad, es necesario ponderar los indicadores para reflejar su importancia relativa en la evaluación general. Los valores ponderados de los indicadores se obtuvieron a través de una encuesta enviada a 9 investigadores expertos en ecología y manejo del golfo de México (Anexo 1), quienes de manera independiente clasificaron los indicadores en función de su importancia en una escala del 1 al 9 (1 = muy baja importancia, 9 = muy alta). El valor ponderado del indicador i (w_i) se calculó como

$$w_i = 100 * \frac{\bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (5)$$

donde es x_i es el valor de importancia asignado a i por cada expertos y \bar{x}_i es el promedio. Finalmente, los valores (v) de los EIIs se obtuvieron como

$$v = \frac{\sum_{i=1}^N c_i * w_i}{100} \quad (6)$$

este valor numérico se interpreta de acuerdo a la Tabla 6. La relación entre el puntaje de elección (α_i) y los valores de los EIs se evaluó utilizando el coeficiente de correlación de Spearman.

Tabla 3. Criterios de clasificación para EII1 Modificación de la línea de costa. Tomado y modificado de [Aubrey y Elliott \(2006\)](#).

Código	Indicador	Nivel de cambio					
		Sin cambio (0)	Muy bajo (1)	Bajo (3)	Medio (5)	Alto (7)	Muy alto (9)
1.1	Nivel del mar	Sin cambio	Estable Y similar o menor al proyectado	Incremento <0.5mm/año Y similar o menor al proyectado	(i) Incremento <0.5mm/año Y mayor al proyectado O (ii) entre 0.5 y 2mm/año Y similar al proyectado	(i) Incremento entre 0.5 y 2mm/año Y mayor al proyectado O (ii) entre 2 y 5mm/año Y similar al proyectado	(i) Incremento entre 2 y 5mm/año Y mayor al proyectado O (ii) >5mm/año
1.2	Estructuras en la zona submareal e intermareal (escolleras y rompeolas)	Sin estructuras	<5% área afectada	≥5% y <15%	≥15% y <30%	≥30% y <50%	>50%
1.3	Atracaderos en marinas	Sin marinas	<100 atracaderos en marinas	≥100 y <150	≥150 y <300	≥300 y <500	≥500
1.4	Puertos	Sin puertos	<500m de muelles	≥500m y <2km	≥2km y <5km	≥5km y <10km	≥10km

Tabla 4. Criterios de clasificación para EII2 Uso de recursos. Tomado y modificado de [Aubrey y Elliot \(2006\)](#).

Código	Indicador	Intensidad de uso					
		Sin cambio (0)	Muy bajo (1)	Bajo (3)	Medio (5)	Alto (7)	Muy alto (9)
2.1	Acuicultura	Sin acuicultura	<1% área intermareal y submareal ocupada	≥1% y <10%	≥10% y <30%	≥30% y <50%	≥50%
2.2	Exploración y extracción de gas e hidrocarburos	Sin actividad	<1% área	≥1% y <10%	≥10% y <30%	≥30% y <50%	≥50%
2.3	Desarrollo industrial y urbano	Sin desarrollo	<5% línea de costa impactada	≥5% y <30%	≥30% y <60%	≥60% y <90%	≥90%
2.4	Desarrollo turístico y recreativo	Sin desarrollo	<10% línea de costa impactada	≥10% y <30%	≥30% y <60%	≥60% y <90%	≥90%
2.5	Puntos de descarga directa de aguas residuales	Sin descargas	<0.1 descargas puntuales por km de costa	≥0.1 y <0.4	≥0.4 y <0.8	≥0.8 y <2	≥2

Tabla 5. Criterios de clasificación para EII3 Calidad ambiental. Tomado y modificado de [Aubrey y Elliot \(2006\)](#).

Código	Indicador	Calidad				
		Muy alta (1)	Alta (3)	Media (5)	Baja (7)	Muy baja (9)
3.1	Contaminantes básicos ¹	DQO \leq 10 mg/l	>10 y ≤ 20	>20 y ≤ 40	>40 y ≤ 200	>200
3.2	Contaminantes patógenos ^{2,6}	≤ 10 NMP/ml o 0 UFC/100 ml	>10 y ≤ 20	>20 y ≤ 50	>50 y ≤ 100	≥ 100
3.3	Metales pesados ³	As < 0.1 mg/l	≥ 0.1 y < 0.15	≥ 0.15 y < 0.2	≥ 0.2 y < 0.4	≥ 0.4
		Cd < 0.1 mg/l	≥ 0.1 y < 0.15	≥ 0.15 y < 0.2	≥ 0.2 y < 0.4	≥ 0.4
		Cu < 4.0 mg/l	≥ 4.0 y < 4.5	≥ 4.5 y < 5.0	≥ 5.0 y < 6.0	≥ 6.0
		Cr < 0.5 mg/l	≥ 0.5 y < 0.75	≥ 0.75 y < 1.0	≥ 1.0 y < 1.5	≥ 1.5
		Hg < 0.005 mg/l	≥ 0.005 y < 0.01	≥ 0.01 y < 0.015	≥ 0.015 y < 0.02	≥ 0.02
		Ni < 2.0 mg/l	≥ 2.0 y < 2.5	≥ 2.5 y < 3.0	≥ 3.0 y < 4.0	≥ 4.0
		Pb < 0.2 mg/l	≥ 0.2 y < 0.4	≥ 0.4 y < 0.5	≥ 0.5 y < 1.0	≥ 1.0
		Zn < 10.0 mg/l	≥ 10.0 y < 12.0	≥ 12.0 y < 15.0	≥ 15.0 y < 20.0	≥ 20.0
3.4	Hidrocarburos dispersos en agua ^{4,5}	≤ 0.2 μ g/l	> 0.2 y ≤ 2.0	> 2.0 y ≤ 5.0	> 5.0 y ≤ 10.0	> 10.0
3.5	Incidentes de contaminación del agua	Sin incidentes	≥ 1 y < 50	≥ 50 y < 100	≥ 100 y < 200	≥ 200
3.6	Pérdida de uno o más tipos de hábitat costeros	Aumento en la extensión de hábitats o en igualdad de condiciones	Sin cambio	Pérdida en uno Y sin cambio en los demás	Pérdida de más de uno	Pérdida en todos

Fuentes: ¹SEMARNAT Indicadores de calidad de agua compendio 2010; ²NOM-242-SSA1-2009 y NMX-AA-042-SCFI-2015; ³NOM-001-ECOL-1996; ⁴UNESCO (1976) y Law et al. (1997), ⁶OMS 2003.

Tabla 6. Interpretación de los valores numéricos (v) de los Indicadores Ambientales Integrativos (EII). Tomado de [Aubrey y Elliot \(2006\)](#).

EII	Clase	$v = 0$	$0 < v < 2$	$2 \leq v < 4$	$4 \leq v < 6$	$6 \leq v < 8$	$8 \leq v < 9$
EII1 y EII2	Disturbio o impacto	Sin disturbio	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
EII3	Calidad		Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja

3. Resultados

3.1 Distribución de cetáceos en las Unidades de Gestión Ambiental

Durante las cuatro temporadas de muestreo se recorrió un total de 11,751 km (Tabla 7, Fig. 4). Las condiciones climáticas como lluvia, nubosidad y velocidad del viento impidieron cubrir el área de estudio en su totalidad en todas las campañas, por lo que el muestreo no fue homogéneo.

En total se registraron 329 individuos de la familia Delphinidae en 21 avistamientos: 102 *Stenella* spp. (2 avistamientos), 93 *T. truncatus* (13 avistamientos), 47 *G. griseus* (3 avistamientos), 9 *G. macrorhynchus* (1 avistamiento) y 78 delfines no identificados a nivel de especie (2 avistamientos) (Tabla 7, figuras 5 a 8). No se encontró diferencia significativa en la tasa de encuentro entre las temporadas de lluvias de 2015 y 2016 ($Z = 0.25$, $n_1 = 4$, $n_2 = 5$, $P = 0.80$), ni entre las temporadas de secas de 2016 y 2017 ($Z = -0.33$, $n_1 = 5$, $n_2 = 5$, $P = 0.74$) (Tabla 7).

Tabla 7. Longitud muestreada en kilómetros (L), número de animales registrados (f) y tasa de encuentro (TE, ind/10km) en las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) de la costa oeste del golfo de México, durante las cuatro campañas de muestreo.

UGA	Agosto 2015			Marzo 2016			Agosto 2016			Febrero 2017		
	L	f	TE	L	f	TE	L	f	TE	L	f	TE
159	---	---	---	785	0	0	493	8	0.162	524	23	0.438
160	391	0	0	655	100	1.526	615	10	0.162	538	0	0
161	1292	47	0.363	906	36	0.397	845	0	0	973	40	0.411
162	517	49	0.947	591	0	0	959	6	0.062	710	0	0
165	146	0	0	139	0	0	378	3	0.079	294	7	0.238
Total	2346	96	0.409	3077	136	0.441	3289	27	0.082	3039	70	0.230

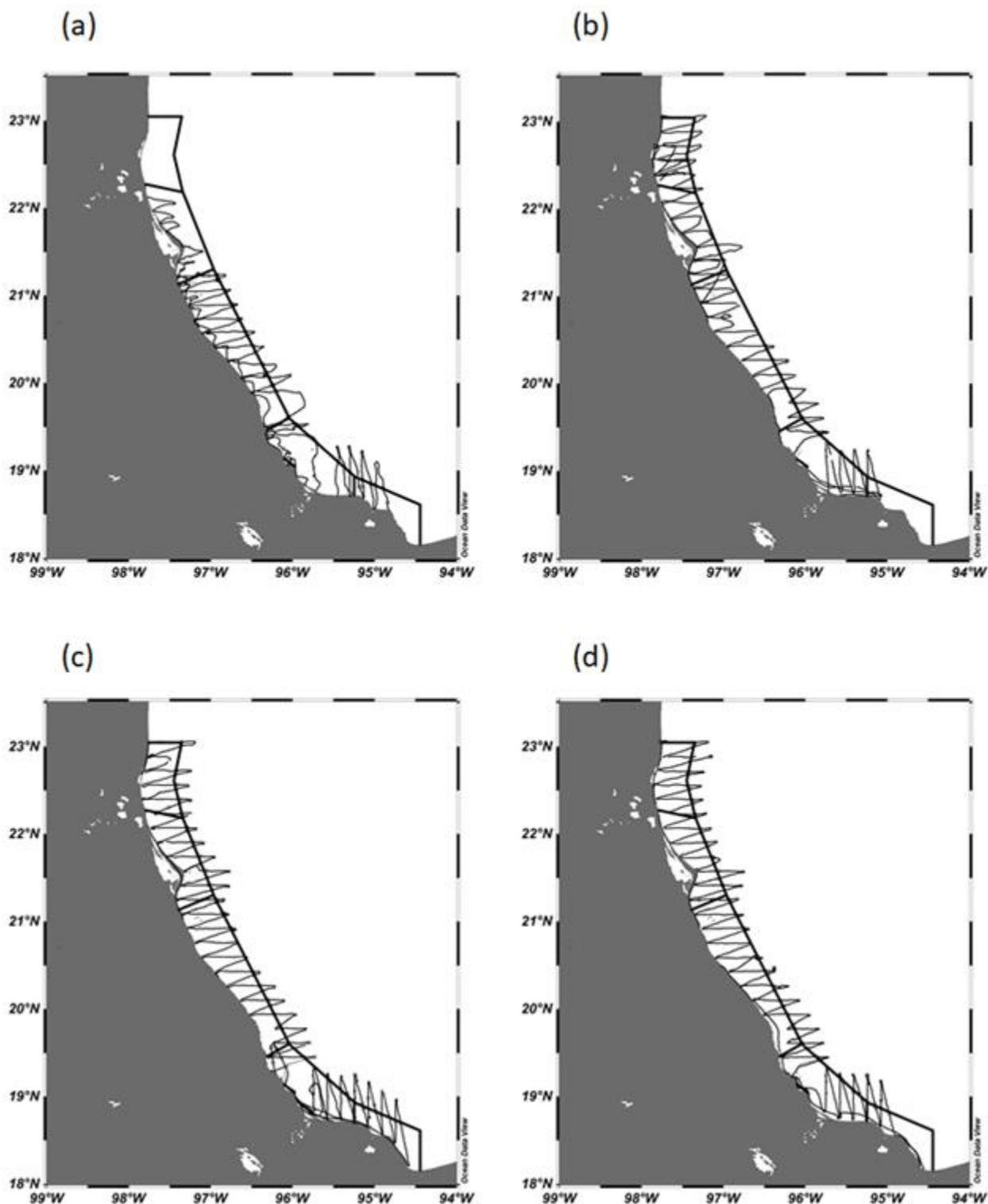


Figura 4. Esfuerzo de muestreo en la costa oeste del golfo de México. La línea marca los límites de las unidades de gestión ambiental incluidas en este estudio. (a) agosto de 2015, (b) marzo de 2016, (c) agosto de 2016, y (d) febrero de 2017.

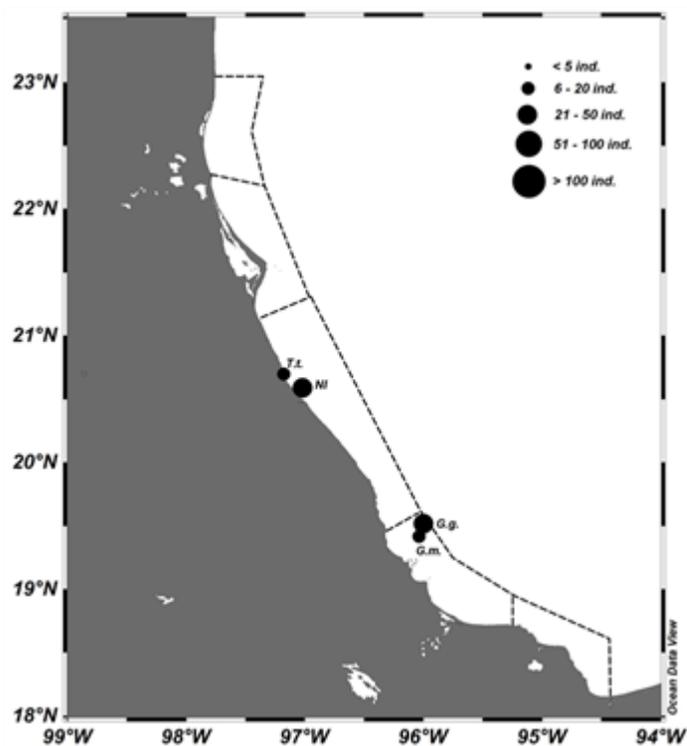


Figura 5. Avistamientos de cetáceos en la temporada de lluvias (agosto) de 2015. Las líneas punteadas representan los límites de las unidades de gestión ambiental. T.t. = *T. truncatus*, G.g. = *G. griseus*, G.m. = *G. macrorhynchus*, NI = delfín no identificado (possible *S. bredanensis*).

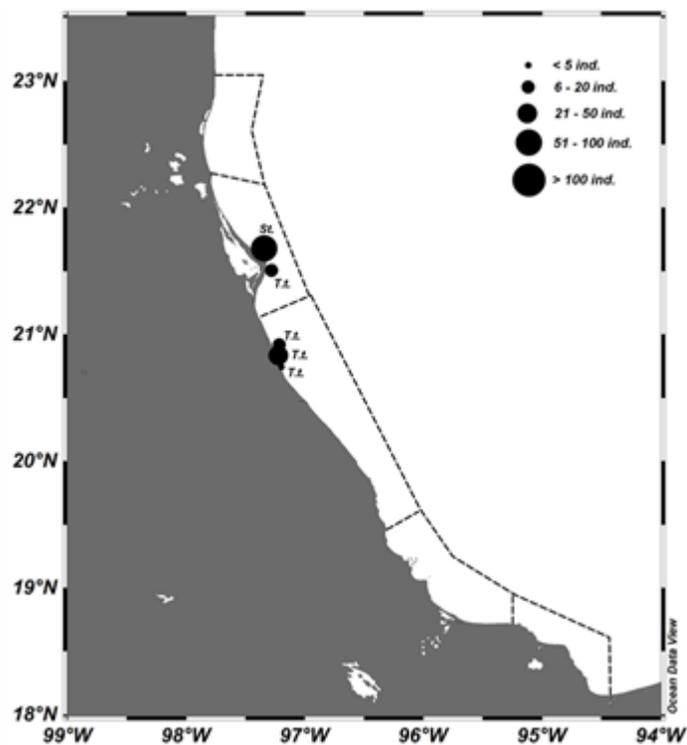


Figura 6. Avistamientos de cetáceos en la temporada de secas (marzo) de 2016. Las líneas punteadas representan los límites de las unidades de gestión ambiental. T.t. = *T. truncatus*, St. = *Stenella* sp.

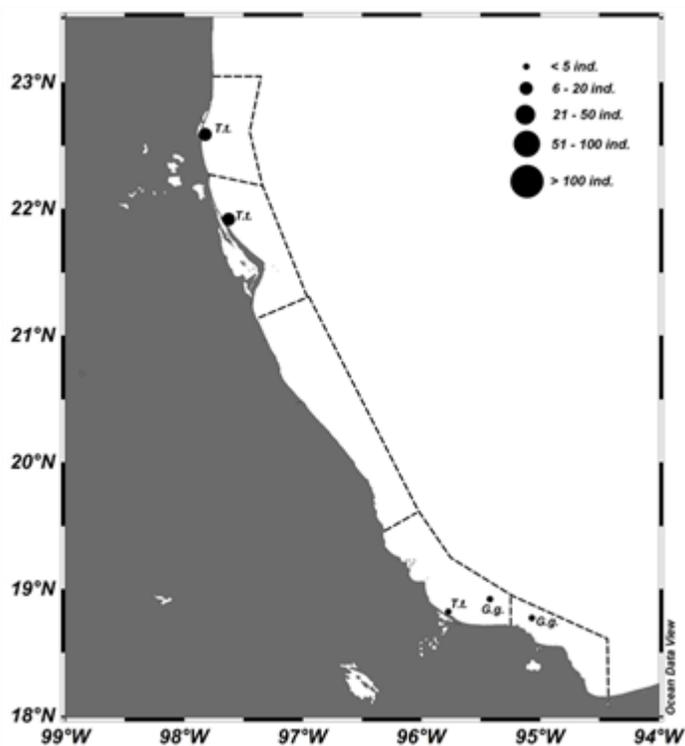


Figura 7. Avistamientos de cetáceos en la temporada de lluvias (agosto) de 2016. Las líneas punteadas representan los límites de las unidades de gestión ambiental. T.t. = *T. truncatus*, G.g. = *G. griseus*.

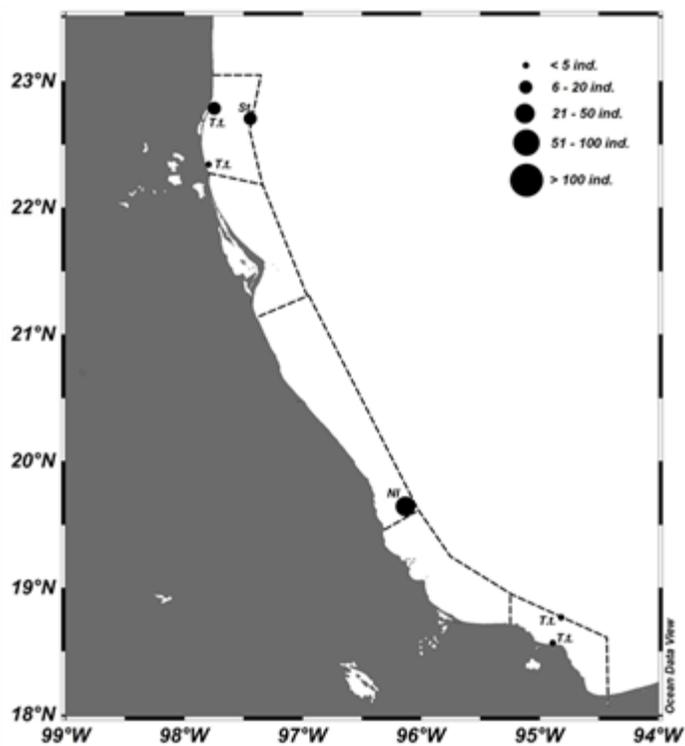


Figura 8. Avistamientos de cetáceos en la temporada de secas (febrero) de 2017. Las líneas punteadas representan los límites de las unidades de gestión ambiental. T.t. = *T. truncatus*, St. = *Stenella* sp., NI = delfín no identificado.

Debido al bajo número de avistamientos, los análisis se realizaron a nivel de familia; i. e., delfínidos. No se encontró evidencia que sugiera diferencia en la distribución entre las temporadas de lluvias y secas: $D(t,t') = 0.476$, $P = 0.217$ (Fig. 9). Con base en este resultado, los datos de las cuatro campañas se agruparon para los análisis posteriores. Tampoco se encontró evidencia que muestre diferencia en la distribución espacial entre las UGAs: $DBC = 0.179$, $P = 0.945$ (Fig. 10). Finalmente, la prueba de uso arrojó valores significativos para las UGAs 160 y 161 (Fig. 11), lo que sugiere que estas unidades podrían estar siendo usadas por los delfínidos de manera preferencial.

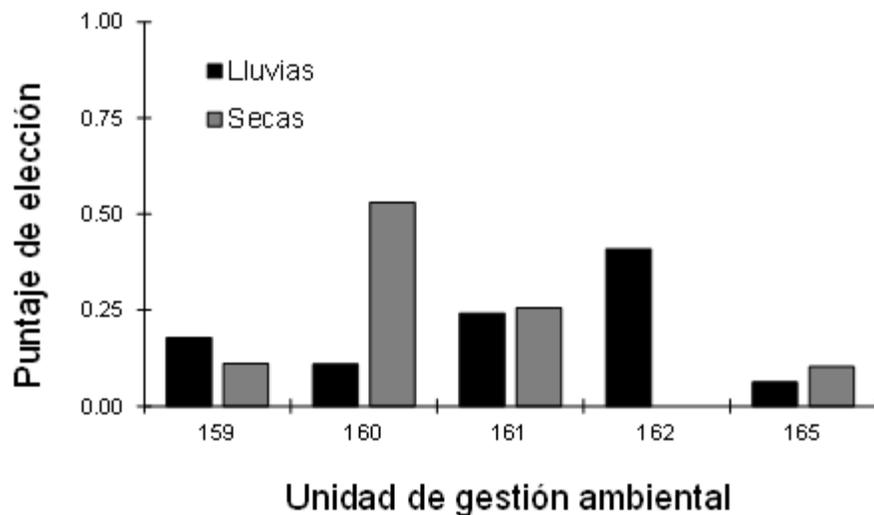


Figura 9. Puntaje de elección de cetáceos en las Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México durante las temporadas de lluvias y secas, 2015-2017.

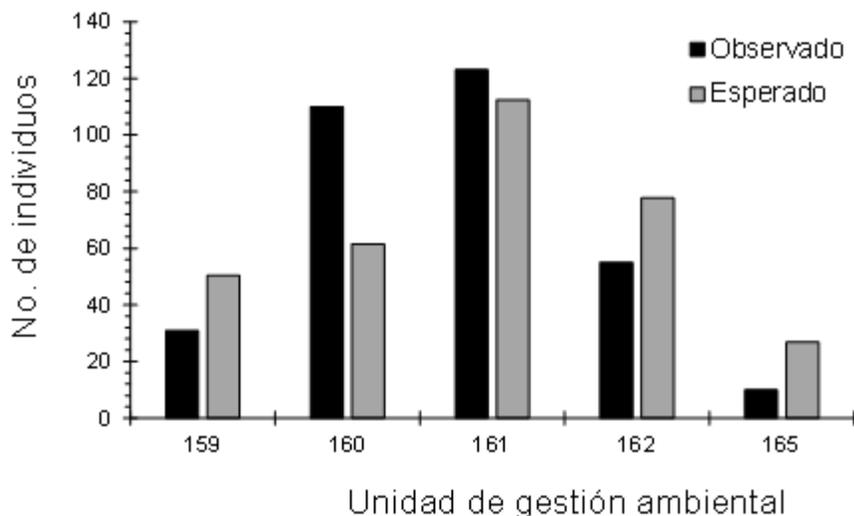


Figura 10. Valores observados y esperados del número de individuos en las Unidades De Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México, 2015-2017.

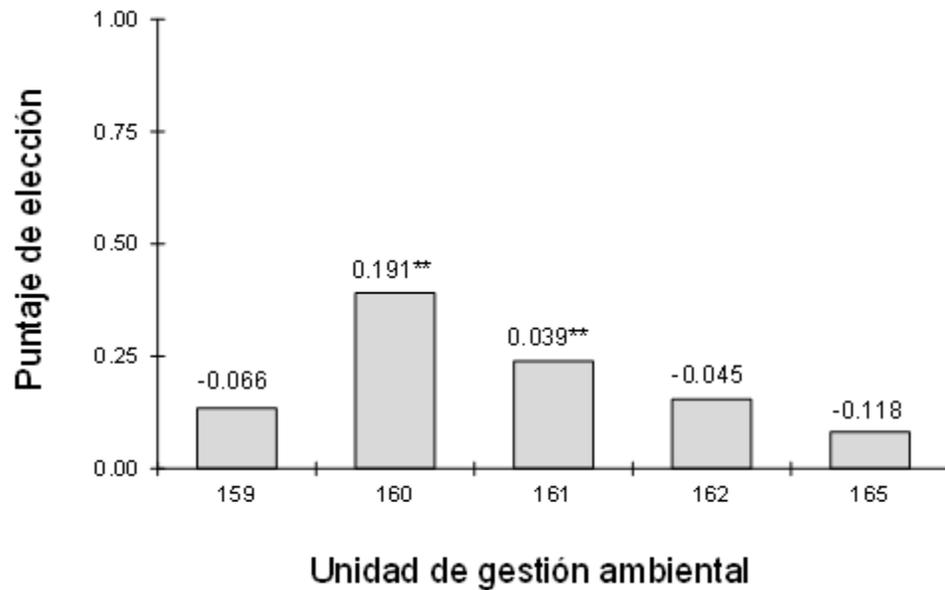


Figura 11. Puntaje de elección en las Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México. Los números sobre las barras son los valores del uso. **valores significativos.

3.2 Caracterización de la calidad ambiental en las Unidades de Gestión Ambiental costeras y relación con la distribución de cetáceos

3.2.1 Indicadores del EII1 Modificación de la línea de costa

Nivel del mar. Las proyecciones para el GM durante el periodo 2050-2100 van de 8 a 21 mm/año (Rahmstorf, 2007). En la UGA 159 el incremento medio del nivel del mar para el periodo 1962-1979 fue de 9.2 mm/año (Zavala-Hidalgo et al., 2010). Debido a que no existe una estimación puntual para la UGA 160 se utilizó el valor estimado para todo el GM, con un valor de 2 mm/año para todo el GM (periodo 1993-2010) (Donoghue, 2011). En la UGA 161 se encuentran las localidades de Tuxpan y Alvarado, que tuvieron un incremento del 2.8 mm/año (periodo 1958-1989) y 1.9 mm/año (periodo 1955-1981) (Zavala-Hidalgo et al., 2010). En la UGA 162 se registró un incremento promedio de 1.9 mm/año (periodo 1952-2003) en el puerto de Veracruz, y en la 165 de 2.9 mm/año (periodo 1952-1988) en Coatzacoalcos (Zavala-Hidalgo et al., 2010).

Estructuras en la zona submareal e intermareal (escolleras y rompeolas). La información sobre estas estructuras se obtuvo del Derrotero de la Secretaría de Marina Armada de México (SEMAR, 2017). En la UGA 159 se encuentran los puertos de Altamira y Tampico. En el primero hay dos escolleras y dos espigones, y en el segundo dos escolleras y un espigón. El área total de estas estructuras es de 0.05 km², lo que representa <0.01% del área total de la UGA. En la UGA 160 no existen este tipo de estructuras a lo largo de la línea de costa. En la UGA 161 se localiza el puerto de Tuxpan, que tiene dos escolleras con un área de 0.02 km², representando <0.01% del área de la UGA. En la UGA 162 se encuentran los puertos de Veracruz y Alvarado. El primero es un puerto de altura con cuatro rompeolas; el segundo es un puerto para embarcaciones pequeñas y presenta dos escolleras y una barra de protección marítima. El área de estas estructuras es de 0.09 km², lo que representa <0.01% del área de la UGA. En la UGA 165 está el puerto de Coatzacoalcos. Tiene dos escolleras y un rompeolas, con un área de 0.01 km², lo que representa <0.01% del área de la UGA.

Atracaderos en marinas. La información sobre las marinas se obtuvo también del Derrotero de la SEMAR (2017). En la UGA 159 se encuentran tres marinas pequeñas en el puerto de Tampico, que en conjunto tienen menos de 100 atracaderos. En el puerto de Veracruz (UGA 162) se localiza la Marina Veramar con atracaderos para aproximadamente 180 embarcaciones. No hay marinas en las UGAs 160, 161 y 165.

Muelles en puertos. La información sobre los muelles en puertos se obtuvo también del Derrotero de la SEMAR (2017). En la UGA 159, el puerto de Altamira cuenta con cinco muelles que en su conjunto suman 1,097m, mientras que el puerto de Tampico tiene 38 muelles que suman 5,087m. En la UGA 161, el puerto de Tuxpan tiene un solo muelle de 519m de longitud, y en la 165, el único muelle del puerto de Coatzacoalcos mide 1,827m. Sin embargo, ninguno de estos puertos representa modificaciones en la línea de costa. El puerto de Altamira se localiza en una laguna, el de Tampico está construido en la rivera del Río Pánuco, el de Tuxpan en el Río Pantepec (Tuxpan) y el último en el Río Coatzacoalcos. En la UGA 160 no hay puertos. En la UGA 162, el puerto de Veracruz tiene 23 muelles, que en conjunto suman 5,223m.

3.2.2 Indicadores del EII2 Uso de recursos

Acuicultura. En ninguna UGA del área de estudio hay desarrollo acuícola en el intermareal o submareal (Sosa-Fragoso 2002; SAGARPA 2012).

Exploración y extracción de gas e hidrocarburos. La información se obtuvo de publicaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y Secretaría de Energía (SENER), y el portal de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNIH, 2017). En las UGAs 159 y 160 se ubica el Bloque Arenque, que incluye los campos Arenque, Lobina, Jurel, Merluza y Náyade (PEMEX, 2011a). El área total del bloque es de 2,035 km²: 1,860 km² se encuentran en la UGA 159 y 175 km² en la 160. En la UGA 161 se encuentran los campos Carpa, Marsopa y Bagre, que en conjunto abarcan un área aproximada de 880 km². También se encuentra el Bloque Atún, con superficie de 625 km² y conformado por los campos Atún, Cangrejo, Escualo, Mejillón y Morsa (PEMEX, 2011b), y el complejo Lankahuasa, que incluye los campos Lankahuasa y Kosni, un área aproximada de 300 km² (SENER, 2013). En 2017 se encuentran activos los campos Arenque (UGA 159), Carpa, Marsopa, Bagre y Lankahuasa (UGA 161) (CNIH, 2017).

Desarrollo industrial y urbano. La información sobre el porcentaje de construcciones en o cerca de la línea de costa se obtuvo con el programa Google Earth®. El 42% de la línea de costa de la UGA 159 está impactada, 6% de la 160, 23% de la 161, 33% de la 162, y 23% de la 165 (Tabla 8).

Tabla 8. Principales asentamientos humanos, longitud de la costa impactada por desarrollo industrial y urbano (DIU), y longitud de la costa impactada por desarrollo turístico y recreativo (DTR) en las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) de la costa oeste del golfo de México.

UGA	Asentamientos humanos	DIU (km)	DTR (km)
159	Altamira y Tampico	48	6
160	Tamiahua	8	1
161	Tuxpan, Tecolutla, Nautla, Laguna Verde ¹	52	21
162	Veracruz, Boca del Río, Antón Lizardo y Alvarado	58	23
165	Carrizal, La Perla y Coatzacoalcos	34	3

¹Central nucleoelectrica

Desarrollo turístico y recreativo. La información sobre las áreas turísticas en o cerca de la línea de costa se obtuvo a través de la Secretaría de Turismo (SECTUR, 2017a, 2017b) y Google Earth®. El 5% de la línea de costa de la UGA 159 está dedicada a estas actividades, 1% de la 160, 9% de la 161, 13% de la 162, y 2% de la 165 (Tabla 8).

Puntos de descarga directa de aguas residuales. La información de este indicador se tomó del Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (CONAGUA, 2015). Se tomaron en cuenta las plantas ubicadas con descarga directa al mar y aquellas con descarga a ríos y lagunas costeras con comunicación al mar (Tabla 9).

3.2.3 Indicadores del EI3 Calidad ambiental

Contaminantes básicos. La información se tomó del Atlas de Agua en México 2016 (CONAGUA, 2016) y corresponden a los niveles de la demanda química de oxígeno (DQO) reportados para 10 sitios de muestreo ubicados en la zona costera del área de estudio que forman parte de la red nacional de monitoreo de calidad del agua (Tabla 10).

Tabla 9. Plantas municipales de tratamiento de aguas residuales consideradas con descargas directas al mar. Fuente: CONAGUA (2015).

UGA	Localidad	Nombre de la planta	Cuerpo de agua receptor
159	Tampico	PTAR Morelos	Laguna El Chariel
161	Tecolutla	Tecolutla	Estero Lagartos afluente del Río Tecolutla
	Tuxpan	Fracc. Lomas de Tuxpan Tuxpan	Río Pantepec Estero La Calzada afluente del Río Pantepec
162	Veracruz	U.H. Franco Cruz Hernández	Laguna de Tepamachaco
		Torres Arrecifes	Golfo de México
		Condado Valle Dorado	Río Medio
		Los Torrentes	Río Medio
		Los Volcanes	Río Medio
		Playa Norte	Golfo de México
		U.H. Río Medio	Río Medio
		U.H. Valle Dorado	Río Medio
		U.H. Las Hortalizas	Río Medio
	Boca del Río	U.H. Costa de Oro	Golfo de México

Tabla 10. Niveles de demanda química de oxígeno (DQO) determinados para 10 sitios de muestreo de la zona costera del área de estudio en 2015. Fuente: CONAGUA (2016).

UGA	Sitios de muestreo	DQO (mg/L)
159	Tampico	>20 y ≤40
160	Tamiahua	<10
161	Tuxpan, Barra de Cazones, Tecolutla, Laguna Verde	>10 y ≤20
162	Veracruz, Alvarado, Lerdo de Tejada	>40 y ≤200
165	Coatzacoalcos	>40 y ≤200

Contaminantes patógenos. La información sobre la concentración de coliformes totales en las muestras de agua se obtuvo de Mendoza- Reynosa (2010), De la Lanza-Espino (2013) e INE-SEMARNAT (1996) (Tabla 11).

Tabla 11. Concentración de coliformes totales (NMP/100 ml) reportada para 12 sitios de muestreo costeros del área de estudio.

UGA	Sitio de muestreo	Coliformes totales	Periodo	Referencia
159	Ciudad Madero	>220	1995	INECOL
160	Laguna Tamiahua, estero La Ciénega	>10	1987-1988	De la Lanza-Espino, G. 2013
161	Laguna Tamapachoco, Río Pantepec	>800	2008-2009	Mendoza-Reynosa, E. 2010
162	Laguna La Mancha, Alvarado, Veracruz*	>30	1981* y 2005-2006	De la Lanza-Espino, G. 2013
165	Laguna Ostión, Nanchithlán, Minatitlán, Río Coatzacoalcos	>40	1983	De la Lanza-Espino, G. 2013

Metales pesados. Solamente se encontró información sobre concentración de cadmio para todas las UGAs. Las fuentes de información fueron Villanueva y Botello (1992), Vázquez-Botello et al. (2004) y Guzmán et al. (2005) (Tabla 12).

Hidrocarburos dispersos en agua. No se encontró información puntual sobre la concentración de hidrocarburos para cada unidad de gestión ambiental o región del área de estudio, por lo que se aplicó a todas las UGAs el valor del único dato disponible para las aguas del golfo de México, estimado en 15 µg/L para el periodo 1983-1985 (Celis et al., 1987 en Ponce y Botello, 2005).

Tabla 12. Concentración de cadmio (mg/L) reportados para 13 sitios de muestreo del área de estudio.

UGA	Sitio de muestreo	Cadmio	Periodo	Referencia
159	Lagunas Madre y San Andrés	0.0014	1980-1990	Villanueva, S. Botello, A. 1992
160	Laguna Tamiahua	0.0012	1995	Páez-Osuna, F., 2005.
161	Lagunas Salada y Tamapachoco	0.0012	1983	Villanueva, S. Botello, A. 1992 Caso-Chávez et al, 2004
162	Río Blanco y lagunas El Llano, La Mancha y Mandinga	0.0012	1983-1996	Villanueva, S. Botello, A. 1992 Caso-Chávez et al, 2004
165	Laguna Sontecomapan y Río Coatzacoalcos	0.0017	1995-1998	Caso-Chávez et al, 2004

Incidentes de contaminación del agua. Se consideran a los derrames de hidrocarburos, fugas de sustancias químicas y vertidos sólidos directos en la zona costera. La información se obtuvo de notas periodísticas publicadas entre 2015 y 2017. Para la UGA 159 se reportó un derrame en aguas cercanas a Tampico en abril de 2016 (periódico Expreso 25/04/2015), y una fuga de aceite en las cercanías de Ciudad Madero en marzo de 2017 (periódico Reportes Norte 24/03/2017). Para las UGAs 160 y 161 ocurrió un derrame de

chapopote en las costas de Tamiahua y Tuxpan en abril de 2017 (periódico La Opinión 19/04/2017). Para la UGA 162 se reportó un derrame de petróleo en las cercanías de Alvarado en abril de 2015 (El Universal 20/04/2015) y el incendio del buque petrolero Burgos frente a las costas de Boca del Río en septiembre de 2016 (El Universal 24/09/2016). Para la UGA 165 se reportó un derrame de petróleo en las cercanías de Coatzacoalcos en septiembre de 2015 (periódico Reforma 15/09/2015), y un derrame de crudo en el Río Calzada en Coatzacoalcos que comenzó en septiembre de 2016 y persistió durante 4 meses, llegando a las aguas del GM (periódico Jornada UNAM 11/09/2016). También se reportó un derrame de petróleo en la localidad de Uxpanapa que llegó al Río Coatzacoalcos y al GM en marzo de 2017 (periódico XEU 21/03/2017). Por último se reportó un derrame de crudo, aceite y chapopote frente a la costa de Coatzacoalcos tras la perforación en aguas someras en julio de 2017 (periódico Costa Veracruz 04/07/2017).

Pérdida de uno o más tipos de hábitat costeros. Los hábitats costeros en todas UGAs incluidas en el área de estudio se encuentran fuertemente impactados. En todo el Estado de Veracruz, de 1976 a 2002, el porcentaje de pérdida de bosques tropicales perennifolio y caducifolio superó el 80% cada uno, mientras que la pérdida de humedales (popal-tular y manglares) osciló entre 14 y 19%; la sabana costera se redujo en casi 12% y la vegetación de dunas costeras en 10% (Ellis y Martínez-Bello, 2010; CONABIO, 2013). En los municipios costeros del sur de Tamaulipas (Altamira-Tampico) se ha perdido <25% de los humedales y dunas costeras (Landgrave y Moreno-Casasola, 2012).

En la Tabla 13 se muestra la clasificación de los indicadores con base en la información bibliográfica y en la Tabla 14 el valor ponderado de cada indicador de acuerdo a las respuestas de los investigadores participantes en la encuesta. Finalmente, en la Tabla 15 se presentan los valores y clases de los EIs resultantes.

Tabla 13. Clasificación de los indicadores de la modificación de la línea de costa (EII1), de uso de recursos (EII2) y de calidad ambiental (EII3) en las Unidades de Gestión Ambiental de la costa oeste del golfo de México. Los indicadores y la explicación de la clasificación se encuentran en las tablas 3, 4 y 5.

Indicador	Unidades de gestión ambiental					
	159	160	161	162	165	
EII1	1.1 Nivel del mar	Muy alto (9)	Alto (7)	Alto (7)	Medio (5)	Alto (7)
	1.2 Estructuras en la zona submareal e intermareal	Muy bajo (1)	Sin cambio (0)	Muy bajo (1)	Muy bajo (1)	Muy bajo (1)
	1.3 Atracaderos en marinas	Sin cambio (0)	Sin cambio (0)	Sin cambio (0)	Medio (5)	Sin cambio (0)
	1.4 Muelles en puertos	Sin cambio (0)	Sin cambio (0)	Sin cambio (0)	Alto (7)	Sin cambio (0)
EII2	2.1 Acuicultura	Sin actividad (0)				
	2.2 Exploración y extracción de gas e hidrocarburos	Alto (7)	Bajo (3)	Medio (5)	Sin actividad (0)	Sin actividad (0)
	2.3 Desarrollo industrial y urbano	Medio (5)	Muy bajo (1)	Bajo (3)	Medio (5)	Bajo (3)
	2.4 Desarrollo turístico y recreativo	Muy bajo (1)	Muy bajo (1)	Muy bajo (1)	Bajo (3)	Muy bajo (1)
	2.5 Puntos de descarga directa de aguas residuales	Muy bajo (1)				
EII3	3.1 Contaminantes básicos	Media (5)	Muy alta (1)	Alta (3)	Baja (7)	Baja (7)
	3.2 Contaminantes patógenos	Muy baja (9)	Alta (3)	Muy baja (9)	Media (5)	Media (5)
	3.3 Metales pesados	Muy alta (1)				
	3.4 Hidrocarburos dispersos en agua	Muy baja (9)				
	3.5 Incidentes de contaminación del agua	Alta (3)				
	3.6 Pérdida de uno o más tipos de hábitat costeros	Muy baja (9)				

Tabla 14. Resumen de respuestas de nueve investigadores participantes en la encuesta y cálculo del valor ponderado de los indicadores de cada Indicador Ambiental Integrativo (EII). DE = desviación estándar.

	Indicador (código)	Participantes									Media	DE	Valor ponderado
		1	2	3	4	5	6	7	8	9			
EII1	1.1	8	3	3	4	9	8	2	3	2	4.7	2.8	18.4
	1.2	7	9	5	8	7	5	3	4	9	6.3	2.2	24.9
	1.3	4	9		8	9	7	3	4	9	6.6	2.6	26.1
	1.4	7	9	8	7	9	8	7	6	9	7.8	1.1	30.6
EII2	2.1	2	1		7	7	7	4	4	9	5.1	2.8	14.1
	2.2	9	9		8	9	9	5	8	9	8.2	1.4	22.7
	2.3	7	9	9	7	9	9	7	8	9	8.2	1.0	22.6
	2.4	8	9	4	6	8	6	7	7	8	7.0	1.5	19.2
	2.5	4	9	7	7	9	9	9	7	9	7.8	1.7	21.4
EII3	3.1		9		7	9	9	9	7	9	8.4	1.0	19.5
	3.2		7		9	7	9	9	8	9	8.3	1.0	19.2
	3.3		8	6	9	8	8	7	6	9	7.6	1.2	17.6
	3.4	8	8		8	8	8	5	6		7.3	1.3	16.9
	3.5	1	8		6	9	3	3	5	7	5.3	2.8	12.2
	3.6	1	9	2	5	8	9	5	9	9	6.3	3.2	14.7

Tabla 15. Clasificación de los Indicadores Ambientales Integrativos (EIIs) en las Unidades de Gestión Ambiental (UGAs) de la costa oeste del golfo de México.

UGA	EII1 Modificación de la línea de costa		EII2 Uso de recursos		EII3 Calidad ambiental	
159	1.9	Muy bajo	3.1	Bajo	6.1	Baja
160	1.3	Muy bajo	1.3	Muy bajo	4.1	Media
161	1.5	Muy bajo	2.2	Bajo	5.7	Media
162	4.6	Medio	1.9	Muy bajo	5.7	Media
165	1.5	Muy bajo	1.1	Muy bajo	5.7	Media

No se encontró relación entre los valores del puntaje de elección (α_i) con el nivel de cambio de la línea de la costa ($r_s = -0.46, P > 0.05$), la intensidad de uso de recursos, ($r_s = 0.10, P > 0.05$) ni la calidad ambiental ($r_s = -0.87, P > 0.05$).

4. Discusión

4.1 Tasa de encuentro y limitaciones del muestreo

Durante este estudio se registraron 21 avistamientos de grupos de delfínidos de las especies *T. truncatus*, *G. griseus*, *G. macrorhynchus* y de *Stenella* spp., además de dos grupos de delfines no identificados, uno de ellos probablemente *S. bredanensis*. La tasa de encuentro en toda el área de estudio varió entre 0.82 ind/10km (agosto 2016) y 4.41 ind/100km (marzo 2016). Diversos factores pudieron influir en las bajas tasas de encuentro observadas. Para este trabajo se elaboró un diseño de muestreo aéreo no sistemático, que si bien es una práctica común para evaluar las poblaciones de fauna silvestre y es sumamente eficaz cuando es necesario recorrer grandes áreas en poco tiempo (Trujillo-González, 2001), presenta algunas desventajas. Por ejemplo, se presentaron dificultades de visibilidad debido a la forma de las ventanas (planas), especialmente en la parte trasera de la cabina. Los muestreos aéreos usualmente se realizan en aeronaves con ventanas de burbujas para permitir a los observadores que viajan en la parte trasera ver directamente debajo de la aeronave (Slooten et al., 2004; Panigada et al., 2011). Además, la probabilidad de detección en los muestreos aéreos se ve disminuida (respecto a la detección desde embarcaciones) debido al comportamiento de buceo; otros aspectos conductuales (e. g., tamaño de grupo pequeño o comportamientos poco vistosos) también reducen la probabilidad de detección (Slooten et al., 2004; Baird et al., 2005).

Otro factor que pudo influir en el bajo número de avistamientos fueron las condiciones climáticas, ya que en algunas zonas no fue posible concluir los recorridos por nubosidad, viento o lluvia. Por otro lado, la UGA 159 no fue muestreada durante la primera campaña. La omisión en el muestreo de los EARs durante los recorridos es otro factor a considerar. Los EARs correspondientes al aeropuerto de Tampico (sur de la UGA 159) y de la nucleoelectrica de Laguna Verde (sur de la UGA 161) interfirieron poco en el muestreo. A diferencia, los ERAs correspondientes al aeropuerto de Veracruz y a la Heroica Escuela Naval Militar impidieron muestrear gran parte de la región central de la UGA 162, y la totalidad de las UGAs 163 y 164.

Los valores de la tasa de encuentro calculados para la región occidental del GM fueron notablemente inferiores a los reportados para el norte del GM, de entre 5.1 ind/100km a 23.1 ind/100km (Davis et al., 2002), a pesar de que ambos estudios fueron realizados con muestreos aéreos. La producción primaria asociada con el escurrimiento del río Misisipi es la más alta medida en el GM (Fulling et al., 2003). La pluma de agua rica en nutrientes del río se extiende hacia las profundidades del norte del GM soportando altas

tasas de productividad primaria y grandes reservas de biomasa de clorofila y zooplancton, proporcionando oportunidades de alimentación para los cetáceos (Hubard et al., 2004). Baumgartner y colaboradores (2001) reportaron que el este de la desembocadura del río Misisipi es una región con abundancias relativamente altas de delfines Risso, delfines manchados pantropicales y cachalotes, además de altas tasas de avistamientos de toninas y la mayor tasa de avistamientos de delfín moteado pantropical. Así, los cetáceos utilizan el este del golfo norte con fines alimentarios y reproductivos, principalmente durante el verano, donde ocurre una mayor actividad de apareamiento o a la formación de grupos de “guardería” (Hubard et al., 2004). Mientras que en la costa occidental del GM residen permanentemente al menos dos grupos de toninas identificados al norte de Veracruz (Valdés-Arellanes et al. 2011).

4.2 Distribución de cetáceos en las Unidades de Gestión Ambiental y relación con la calidad ambiental

La distribución de los delfínidos no fue diferente entre las temporadas de lluvias y secas, y fue homogénea entre las UGAs, aunque pareciera existir una cierta preferencia por las UGAs 160 y 161. Esto podría deberse al hecho de haber analizado la distribución a nivel de familia. *T. truncatus* se observó en todas las UGAs durante las cuatro campañas de muestreo. Los grupos del género *Stenella* fueron encontrados al sur de Tamaulipas y norte de Veracruz; es decir, en las UGAs 159 y 160, en la temporada de secas. A diferencia, *G. griseus* y *G. macrorhynchus* se observaron únicamente en la temporada de lluvias en las UGAs 162 y 165. Estas diferencias entre las especies fueron eliminadas al combinar los avistamientos.

Las diferencias en la distribución espacial y temporal entre las especies se relacionan con sus hábitos. La profundidad de fondo es la variable fisiográfica que más influye en la distribución de los cetáceos, ya que afecta la dinámica de los parches de presas (Würsig y Würsig, 1979; Gelwick et al. 1997). *T. truncatus* habita en aguas costeras y oceánicas, por lo que se reconocen dos ecotipos, uno costero (<150 m profundidad) y otro oceánico (Reeves et al., 2002). Solamente se registró un avistamiento cercano al talud continental (>200 m), que podría corresponder a un grupo de delfines de ecotipo oceánico. Los demás avistamientos ocurrieron en sitios cercanos a la línea de costa, especialmente en ambientes estuarinos y con influencia de las aguas continentales. Estudios previos en la zona norte de Veracruz han mostrado que *T. truncatus* se distribuye a una distancia promedio de la costa de 2.5 km, concentrándose en estuarios y lagunas costeras (Martínez-Serrano et al., 2011). Esta preferencia por hábitats estuarinos se relaciona con

la presencia de presas potenciales que típicamente son capturadas durante la bajamar (Heckel, 1992; Martínez-Serrano et al., 2011).

En el norte de Veracruz se han identificado al menos dos grupos residentes de toninas (Valdés-Arellanes et al. 2011), lo que explicaría la presencia de esta especie en todas las campañas de muestreo, al menos en las UGAs 160 y 161. La presencia durante todo el año de *T. truncatus* en esta área podría estar asociada a los sistemas arrecifales de Lobos y Tuxpan (UGAs 200 y 201, respectivamente). En términos generales, los arrecifes coralinos son sitios con altas tasas de productividad y de alta diversidad biológica, por lo que las zonas aledañas a los arrecifes de Lobos y Tuxpan pueden representar un sitio adecuado para la crianza y alimentación de los delfines (Martínez-Serrano et al., 2011). Esta distribución de las toninas en particular podría haber influido en la aparente selección de los delfínidos por las UGAs 160 y 161. Por otra parte, en el sur de Veracruz, entre el sistema arrecifal Veracruzano y la boca de la laguna de Alvarado, también hay grupos residentes de toninas (Hernández-Candelario et al., 2015; Morteo et al., 2017). Durante el trabajo de campo esta área no fue muestreada debido a los EARs, por lo que no se debe descartar la posibilidad que, de haberse incluido, tal vez la UGA 162 también podría haber sido identificada como un área preferente.

El uso diferencial del espacio, la diferencia en la dieta y la segregación temporal son estrategias adoptadas por especies simpátricas de mamíferos terrestres para promover la coexistencia al evitar la competencia por los recursos (e. g., Johnson y Franklin, 1994; Johnson et al., 2000; Abramsky et al., 2001). Mismas estrategias que se han propuesto para delfínidos simpátricos (Bearzi, 2005). A excepción de *T. truncatus*, la variación en los avistamientos de las otras especies de delfínidos entre las UGAs, y entre las temporadas de secas (invierno) y de lluvias (verano) podría estar relacionada con el patrón estacional de circulación de la región (Zavala et al., 2003) que influye en la presencia de las diferentes presas potenciales. De manera que la variación de los avistamientos entre las temporadas podría explicarse porqué la preferencia dietética de los cetáceos no es la misma y que la concentración de sus presas principales ocurra de forma temporal en el área de estudio.

Las estenelas más comunes en el área de estudio son *S. attenuata* y *S. frontalis* (Ortega-Ortiz, 2002). *S. attenuata* es la especie de cetáceo más abundante del GM y aunque específicamente para el GM se desconocen sus movimientos, en otras áreas realiza migraciones estacionales (Perrin, 2001). En el GM se ha avistado sobre la plataforma continental pero también en la zona abisal (Würsig, 2017). Suelen encontrarse formando grandes agregaciones en aguas profundas (> 1500 m), donde se alimentan de peces mesopelágicos y epipelágicos, crustáceos y calamares, aunque ocasionalmente pueden alimentarse de

peces voladores que viven en la superficie (Würsig, 2017). *S. frontalis* generalmente se encuentra dentro de los 200 m de profundidad y no parecen adentrarse en aguas más profundas ni del norte del GM ni del sur; además, es común que cohabiten con toninas (Würsig, 2017). Estas estenelas pueden llegar a aguas someras (<100 m) estacionalmente (Perrin, 2002), y en el norte del GM estos movimientos se han reportado a finales del invierno y durante la primavera (Waring et al. 2016).

G. griseus se alimenta preferentemente de calamares y ocasionalmente de peces y crustáceos (Würsig, 2017). Esta especie ocurre comúnmente en aguas profundas y oceánicas (Reeves et al., 2002), pero también puede encontrarse en aguas cercanas al talud continental (Baumgartner, 1997; Maze-Foley & Mullin, 2006) o incluso sobre la plataforma continental (Wade y Gerrodette, 1993). Se desconocen los movimientos estacionales en el GM (Wells et al. 2009). *G. macrorhynchus* es una especie abundante en el GM que se distribuye preferentemente en aguas >500 m de profundidad, donde se alimentan de peces mesopelágicos y calamares (Würsig, 2017). La zona de estudio tiene una profundidad ≤ 200 m, pero se registró un avistamiento. Esto podría deberse a que en el GM no es poco común que se adentren a la plataforma continental (Würsig, 2017). En el norte del GM esta especie se ha registrado durante todo el año en profundidades >100 m y <4,000m, pero en el área de estudio se han avistado con mayor frecuencia durante el verano (Ortega-Ortiz, 2002).

No se encontró una relación entre la distribución de los cetáceos y la calidad ambiental de las UGAs. Esto podría explicarse porque las UGAs no fueron delimitadas con respecto a atributos naturales y la profundidad es la variable con mayor influencia en la distribución de los cetáceos. Además, a pesar de la importancia económica del área de estudio y de la variedad de actividades humanas que pueden potencialmente producir el deterioro ambiental, la evaluación sugiere que la calidad ambiental es media (a excepción de la UGA 159).

La selección de los indicadores ambientales se basó en la metodología desarrollada para un ecosistema estuarino (Aubry y Elliott 2006). Aunque la mayoría de los indicadores son aplicables para la zona costera, para este estudio fue necesario incluir indicadores que reflejaran las características económicas en la región costero-terrestre del área de estudio, pero también hubo que tomar en cuenta la disponibilidad de fuentes de información fidedignas. La carencia de información actualizada fue un problema en la evaluación de la calidad del hábitat. Por ejemplo, para algunos indicadores del componente EII 3 Calidad Ambiental, la información corresponde a datos colectados entre las décadas de los 80s y 90s, y otros están incompletos. A pesar de estas limitaciones se pudo obtener un panorama general y este trabajo es una primera aproximación para evaluar la calidad en las unidades de gestión ambiental costeras.

El nivel de cambio en la línea de costa y la intensidad del uso de recursos son bajos. Respecto al primero, solamente la UGA 162 presenta un nivel alto de modificación en un indicador por la presencia del puerto de Veracruz; respecto al uso de recursos, las UGAs 159 y 161 tienen niveles de altos a moderados relacionados con la explotación de hidrocarburos. Sobre la calidad ambiental, la presencia de contaminantes básicos es en términos generales de baja a media en las UGAs norteñas, y alta en las UGAs 162 y 165, lo que concuerda con los estudios de calidad del agua de los principales ríos del estado de Veracruz, que muestran altos niveles de contaminación por materia orgánica en los ríos más importantes (e. g., Jamapa y Papaloapan) (Houbron, 2010). Por otro lado, la presencia de contaminantes patógenos es alta en la UGA 159. Lo que podría contribuir al riesgo de infección entérica en delfines costeros y estuarinos principalmente durante el aumento de la escorrentía de fuentes terrestres de contaminación fecal de la vida silvestre, animales domésticos o humanos (Schaefer et al. 2011). Aunque de acuerdo con Schaefer et al. 2011, la exposición repetida a patógenos coliformes durante los primeros años de vida parecen contribuir al desarrollo de una respuesta inmune en las toninas, un contacto súbito puede representar un peligro potencial para su salud. Sin embargo, se desconoce el estado de salud de los cetáceos que habitan la costa occidental del GM.

Los niveles de metales pesados fueron muy bajos en todas las UGAs. Los estudios realizados en las costas del GM sugieren que los problemas de contaminación más serios ocurren principalmente en bahías, estuarios y lagunas costeras, donde se han detectado las mayores concentraciones de cadmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb) (Vázquez-Botello et al., 2004). Los datos usados en la evaluación corresponden únicamente a Cd y datan de las décadas de 1980 y 1990, por lo que el valor de este indicador podría estar subestimado. Finalmente, la concentración de hidrocarburos disueltos en agua se consideró alta en todas las UGAs. Sin embargo, el valor de este indicador debe tomarse con cautela porque se usó un único dato referente a todo el GM estimado en la década de 1980.

El gran problema que se presenta en toda la región es la pérdida de hábitats costeros. Los bosques perennifolios que incluyen a las selvas altas y medianas perennifolias y subperennifolias de latitud neotropical, y se desarrollan en sitios de inundación permanente en zonas selváticas, asociadas a manglares concentrados en las llanuras costeras de Veracruz y Tabasco (Challenger y Soberón, 2008). Los manglares son considerados como uno de los ecosistemas más productivos a nivel global, ya que son el hábitat de una variada fauna silvestre, aportan importantes cantidades de nutrientes a los ambientes marinos y terrestres, son sumideros de carbono y aportan diversos servicios ecosistémicos (Lara-Lara et al., 2008). Las dunas costeras son un límite entre el mar y la tierra, su importancia ecológica radica en el intercambio de materia y energía entre el entorno marino y terrestre (Challenger y Soberón, 2008). Los

humedales se conforman por una gran cantidad de ecosistemas que incluyen vegetación compuesta por popales, tulares, palmares y selvas inundables, y cuerpos de agua como marismas, oasis, cenotes, petenes y lagunas costeras (Berlanga-Robles et al., 2008). Los tipos de hábitat más afectados han sido los bosques tropicales y los humedales. Los principales efectos de la disminución de la vegetación costera en el ambiente marino son la pérdida de depósitos de nutrientes y sedimentos, así como la modificación de la línea de costa, lo que conlleva a la pérdida de zonas de reproducción y crianza de moluscos, artrópodos y peces (Lotze et al., 2006).

4.3 Ordenamiento ecológico del golfo de México y conservación de mamíferos marinos

Las acciones previstas en el POEMyRGMMyMC para el manejo de las UGAs del área de estudio pueden reunirse en 7 grupos: conservación, restauración ambiental, modificación de la línea de costa, energía, pesquerías, turismo e infraestructura (Anexo II, tomado de D.O.F. 24-11-2012). Por otra parte, las acciones de las ZCIs sur del golfo de México y oeste del golfo de México pueden agruparse en acciones de conservación y de modificación de la línea de costa (Anexos III y IV, tomados de D.O.F. 24-11-2012). Cabe resaltar que en ninguna de las acciones para las UGAs se hace mención explícita a los mamíferos marinos de la región (i. e., cetáceos y manatí antillano), aunque la acción A-018 establece que se deberán “impulsar los programas y acciones de recuperación de especies bajo algún régimen de protección en la NOM-059 SEMARNAT” (Anexo II). Por otra parte, las acciones ZGS-02 y ZGN-03 de las ZCIs sur del golfo de México y oeste del golfo de México, respectivamente, establecen la prohibición de la captura de mamíferos marinos con fines lucrativos (Anexos III y IV). Todas las especies de cetáceos que habitan en el GM están incluidas en la NOM-059-SEMARNAT como especies sujetas a protección especial y el manatí como especie en peligro de extinción (D.O.F. 21-12-2015), lo que significa que se deben desarrollar programas de protección y/o recuperación; asimismo, la prohibición de la captura de mamíferos marinos se decretó en la reforma de 2002 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (D.O.F. 10-01-2002).

Otro aspecto que llama la atención sobre las acciones de manejo tanto para las UGAs como para las ZCIs de las regiones sur y oeste del GM es la falta de referencia a la regulación de las actividades relacionadas con la exploración y extracción de hidrocarburos (e. g., exploración sísmica, instalación y operación de plataformas, perforación de pozos, etc.), aunque se presentan acciones orientadas al monitoreo y

remediación de aguas afectadas por hidrocarburos (A-022, Anexo II), y al control del vertimientos de hidrocarburos y productos químicos (ZGS-05 y ZGN-07, Anexos III y IV, respectivamente). Finalmente, las ZCIs se establecieron como una medida adicional de manejo en respuesta al intenso uso de la franja costera, incluyendo la parte terrestre y la marina (D.O.F. 24-11-2012). Sin embargo, a pesar del alto grado de deterioro de los ecosistemas costeros terrestres, las acciones previstas para estas ZCIs se enfocan en el ambiente marino. Es decir, no se incluyeron acciones orientadas a remediar o disminuir la degradación y fragmentación de los hábitats terrestres.

En síntesis, durante esta investigación se avistaron en la costa occidental del GM *T. truncatus*, *G. griseus* y *G. macrorhynchus*, además de estenelas que podrían corresponder a dos especies, *S. attenuata* y *S. frontalis*, y un posible avistamiento de *S. bredanensis*. Ortega-Ortiz (2002) reportó para el área a estas mismas especies de delfínidos, excepto *G. griseus*, por lo que en este trabajo se reportan los primeros avistamientos de la especie en la plataforma continental del occidente del GM. Estos registros muestran que en el área de estudio se encuentra al menos el 27% de los cetáceos que habitan regularmente en el GM y 43% de las especies de delfínidos. Por otra parte, aunque en este estudio no se hizo una estimación de la abundancia de delfínidos, las relativamente bajas tasas de encuentro sugieren que el grupo no es particularmente abundante; sin embargo, los resultados apuntan a que estos animales usan de manera permanente la costa occidental del GM. Finalmente, la calidad ambiental en términos generales es media, por lo que es importante que en las UGAs incluidas en el área de estudio se desarrollen programas de manejo para mantener (o mejorar) la calidad ambiental. Actualmente la pérdida y degradación de ecosistemas costeros es el principal problema en la región, pero se debe prestar atención también al desarrollo de la industria de los hidrocarburos.

5. Conclusiones

- En la costa occidental del GM se avistaron grupos de *T. truncatus*, *G. griseus* y *G. macrhynchus*, además de estenelas que podrían corresponder a dos especies, *S. attenuata* y *S. frontalis*, y un posible avistamiento de *S. bredanensis*. Todas estas especies pertenecen a la Familia Delphinidae.
- En este trabajo se reportan los primeros avistamientos de *G. griseus* en la plataforma continental del occidente del GM.
- Los registros obtenidos durante las campañas de muestreo indican que en el área de estudio se encuentra al menos el 27% de los cetáceos que habitan regularmente las aguas del GM.
- La tasa de encuentro fue baja en comparación con lo reportado para el norte del GM, lo que sugiere que los delfínidos no son particularmente abundantes en el área de estudio.
- No se encontraron evidencias de una diferencia en la distribución temporal y espacial de los delfínidos como grupo en el área de estudio.
- Las UGAs 160 y 161, ubicadas al norte de Veracruz, parecen ser usadas preferentemente por los delfínidos. Sin embargo, esta aparente selección podría ser efecto de la presencia de grupos residentes de *T. truncatus* en la zona.
- La UGA 159 (el área comprendida entre Altamira y Tampico, Tamaulipas) es la que presentó una menor calidad ambiental, debido a la concentración de múltiples actividades antropogénicas que se desarrollan en la zona costera.
- La mayor presión ambiental en el área de estudio es la pérdida de vegetación costera, seguida por la presencia de hidrocarburos disueltos en agua.
- No se detectó una correlación entre la calidad ambiental de las UGAs y las preferencias de los delfínidos, quizá porque las variables fisiográficas (especialmente la profundidad de fondo) son las que mayormente modulan su distribución.
- La relativamente alta diversidad de delfínidos en la costa oeste del GM y su presencia permanente colocan a esta zona como un área de interés para la conservación de los cetáceos.

Literatura citada

- Abramsky, Z., Rosenzweig, M.L., Subach, A. 2001. The cost of interspecific competition in two gerbil species. *Journal of Animal Ecology*, 70, 561-567.
- Aguirre-Gómez, R. 2004. La observación de impactos en el Golfo de México mediante imágenes satelitales. En: Caso-Chávez, M., Pisanty, I., Ezcurra, E. (Eds.), *Diagnóstico ambiental del golfo de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto nacional de ecología, México D.F. pp. 883-898
- Allen, P.J. 2004. *Monachus tropicalis*. *Mammalian Species*, 747, 1-9.
- Aubry, A., Elliott, M. 2006. The use of environmental integrative indicators to assess seabed disturbance in estuaries and coasts: application to the Humber estuary UK. *Marine Pollution Bulletin*, 53, 175–185
- Azzelino, A., Gaspari, S., Airoidi, S., Nani, B. 2008. Habitat use and preferences of cetaceans along the continental slope and the adjacent pelagic waters in the western Ligurian Sea. *Deep Sea Research I*, 55, 296-323.
- Baird, R., Webster, D., McSweeney, D. 2005. Biases and data limitations of odontocete cetacean sighting data from small-boat based surveys around the main Hawaiian Islands. *Cascadian Research Report N62742-05-P-1880*.
- Ballance, L., Pitman, R., Fiedler, P. 2006. Oceanographic influences on seabirds and cetaceans of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69, 360-390.
- Baumgartner, M. F. 1997. The distribution of Risso's dolphin (*Grampus griseus*) with respect to the physiography of the northern Gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*, 13: 614-638.
- Baumgartner, M., Mullin, K., May, L., Leming, T. 2001. Cetacean habitats in the northern gulf of Mexico. *Fishery Bulletin*, 99, 219-2239.
- Bearzi, M. 2005. Dolphin sympatric ecology. *Marine Biology Research*, 1, 165-175.
- Berlanga-Robles, C., Ruíz-Luna, A., de la Lanza Espino, G. 2008. Esquema de clasificación de los humedales en México. *Boletín del instituto de Geografía UNAM*, 66, 25-46
- Biggs, D. 1992. Nutrients, plankton, and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 97, 2143-2154.
- Biggs, D., Müller-Karger, F. 1994. Ship and satellite observations of chlorophyll stocks in interacting cyclone-anticyclone eddy pairs in the western Gulf of Mexico, *Journal of Geophysical Research*, 99, 7371–7384,.
- Botello, A., Villanueva, F., Rodríguez, C. 1996. Toxic metal (Pb, Cr, Cd), and their bioavailability in coastal lagoons of Veracruz state, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 6, 18-27.

- Brown, A., Bedjer, L., Pollock, K., Allen, S. 2016. Site-specific assessments of the abundance of three offshore dolphin species to inform conservation and management. *Frontiers in Marine Science*, 3, 4. doi: 10.3389/fmars/2016.0004
- Calderón, C., Aburto, O., Ezcurra, E. 2009. El valor de los manglares. *Biodiversitas*, 82, 1-6.
- Castañeda-López, O., Contreras-Espinosa-F. 2003. El centro de documentación "Ecosistemas litorales mexicanos" como una herramienta de diagnóstico. *ContactoS*, 48, 5-17.
- Cechetti, A. 2006. The spatial and temporal distribution of cetaceans within Skjálfandi Bay, North East Iceland. Tesis Maestría. University of Wales. 114 pp.
- Celis, L., Botello, A., Mendelewicz, M., Díaz, G. 1987. Actividades del proyecto CARIPOL en la zona costera de México: I. Hidrocarburos disueltos. *Caribbean Journal of Science*, 23, 11-18.
- Challenger, A., Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. En: Soberón, J., Halffter, G., Llorente-Bousquets (Eds.), *Capital natural de México, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad*. CONABIO, México D.F. pp. 87-108.
- CNIH. 2017. Información CNIH: pozos. Consultado el 07 de mayo de 2017, de: <https://portal.cnih.cnh.gob.mx/>
- CITES. 2017. Apéndices I, II y III. Consultado el 19 de junio de 2017, de: www.cites.org
- Colegrove, K., Venn-Watson, S., Litz, J., Kinsel, M., Terio, K., Fourgeres, E., Ewing, R., Ann Pabst, D., McLellan, W., Raverty, S., Saliki, J., Fire, S., Rappucci, G., Bowen-Stevens, S., Noble, L., Costidis, A., Barbieri, M., Field, C., Smith, S., Carmichael, R., Chevis, C., Hatchett, W., Shannon, D., Tumlin, M., Lovewell, G., McFee, W., Rowles, T., 2016. Fetal distress and in utero pneumonia in perinatal dolphins during the Northern Gulf of Mexico unusual mortality event. *Diseases of Aquatic Organisms*, 119, 1-16.
- Collum, L. A., Fritz, T. H. 1985. Sperm whales (*Physeter catodon*) in the Gulf of Mexico. *Southwestern Naturalist*, 30, 101-104.
- CONABIO. 2013. Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del estado de Veracruz. CONABIO, México D.F.
- CONAGUA. 2015. Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación, diciembre 2015. SEMARNAT- CONAGUA, México D.F.
- CONAGUA. 2016. Atlas del agua en México 2016. SEMARNAT-CONAGUA, México D.F.
- CONAGUA. 2017. Banco Nacional de datos de aguas superficiales. Consulta 02 de diciembre de 2017, de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>
- CONANP. 2004. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. CONANP, México D.F.
- Constantine, R., Brunton, D., Dennis, T., 2004. Dolphin-watching tour boats change bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behaviour. *Biological Conservation*, 117, 199-307.
- D.O.F. 28-01-1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

- D.O.F. 10-01-2002. Decreto por el que se reforman diversas disposiciones de la Ley General de Vida Silvestre.
- D.O.F. 06-03-2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental– Especies nativas de México de flora y fauna silvestres– Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio– Lista de especies en riesgo.
- D.O.F. 24-11-2012. Acuerdo por el que se expide la parte marina del Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del golfo de México y Mar Caribe y se da a conocer la parte regional del propio Programa.
- D.O.F. 25-12-2015. Proyecto de modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental– Especies nativas de México de flora y fauna silvestres– Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio– Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010.
- Davis, R., Fargion, G. 1996. Distribution and abundance of cetaceans in the north-central and western Gulf of Mexico: Final report. Texas institute of Oceanography and the National Marine Fisheries Service.
- Davis, R., Fargion, G., May, N., Leming, T., Baumgartner, M., Evans, W., Hansen, L., Mullin, K. 1998. Physical habitat of cetaceans along the continental slope in the north-central and western gulf of Mexico. *Marine Mammal Science*, 14, 490-507.
- Davis, R. W., W. E. Evans, and B. Würsig. 2000. Cetaceans, sea turtles and seabirds in the northern Gulf of Mexico: distribution, abundance, and habitat associations. Volumen I. Executive Summary. OCS Study MMS 2000-002. Texas A&M University and the National Marine Fisheries Service.
- Davis, R., Ortega-Ortiz, J., Ribic, C., Evans, W., Biggs, D., Ressler, P., Cady, R., Leben, R., Mullin, K., Würsig, B. 2002. Cetacean habitat in the northern oceanic Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research*, 49, 121-142.
- Day, J., Ko, Y., Rybezyk, J., Sabins, D., Bean, R., Berthelot, G., Brantley, C., Cardoch, L., Conner, W., Day, J., Englande, A., Feagly, S., Hyfield, E., Lane, R., Lindsey, J., Mitsch, J., Reyes, E., Twilley, R. 2004. The use of wetlands in the Mississippi delta for wastewater assimilation: a review. *Ocean and coastal management*, 47,671-92.
- De la Lanza-Espino, G. 2013. Diagnosis of the present state of Gulf of Mexico wetlands regarding geological, physical, biological, fluvial anthropological and social aspects. GEF- NOAA-SEMARNAT, México D.F.
- De la Maza, R., Bernárdez, A. 2004. Perspectivas de la conservación en el Golfo de México. En: Caso-Chávez, M., Pisanty, I., Ezcurra, E. (Eds.), *Diagnóstico ambiental del golfo de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto nacional de ecología, México D.F. pp. 637-656.
- Delgado-Estrella, A. 2002. Comparación de parámetros poblacionales de las toninas, *Tursiops truncatus*, en la región sureste del Golfo de México (Estados de Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo). Tesis de doctorado en ciencias. Univeridad Nacional Autónoma de México. 160 pp.
- Delgado-Estrella, A., and R. B. Villa. 1998. First records of dwarf sperm whale (*Kogia breviceps*), pygmy sperm whale (*Kogia simus*) and pygmy killer whale (*Feresa attenuata*) in Veracruz, Mexico. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoológica*, 69,129-134.

- Donoghue, J. 2011. Sea level history of the northern Gulf of Mexico coast and sea level rise scenarios for the near future. *Climatic Change*, 107, 17–33.
- Ellis, A., Martínez-Bello, M. 2010. Vegetación y Uso de Suelo de Veracruz. En: Benítez-Badillo, G., Welsh-Rodríguez, C. (Eds.), *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural del Estado de Veracruz*. UV-Campus Xalapa. Pp. 203-226.
- Fulling, G. L., Mullin, K. D., Hubard, C. W. 2003. Abundance and distribution of cetaceans in outer continental shelf waters of the US Gulf of Mexico. *Fisheries Bulletin*, 101, 923-932.
- Gaceta Oficial-Órgano de Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave 20-06-2017. Programa estatal del sector primario y sustentabilidad 2017-2017.
- Galindo, J. A., Serrano, A., Vásquez-Castán, L., González-Gándara C., López-Ortega, M. (2009). Cetacean diversity, distribution, and abundance in northern Veracruz, Mexico. *Aquatic Mammals*, 35, 12-18.
- García de Fuentes, A., Munguia, A., Euán, J., Liceaga, M. 2013. Criterios para la delimitación de unidades de gestión ambiental en el ordenamiento ecológico del territorio costero del estado de Yucatán. En: Sánchez Salazar, M. T., Bocco Verdinelli, G., Casado Izquierdo J. M. (eds.), *La política de ordenamiento territorial en México: De la teoría a la práctica*. CIGA-UNAM-INECC-SEMARNAT, México D.F. pp. 425-447.
- Gelwick, F.P., Stock, M.S., Matthews, W.J. 1997 Effects of fish, water depth, and predation risk on patch dynamics in a northtemperate river ecosystem. *Oikos*, 80, 382-398.
- Geraci, J.R. 1990. Physiologic and toxic effects on cetaceans. En: Geraci, J. R., St. Aubin, D. J. (Eds.) *Sea mammals and oil: Confronting the risks*. Academic Press, New York. pp. 167-197
- Goold, J., Fish, P. 1998. Broadband spectra of seismic survey air-gun emissions, with reference to dolphin auditory thresholds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103, 177-184.
- Guzmán, P., Villanueva, S., Botello, A. 2005. Metales en tres lagunas costeras del estado de Veracruz. En: Botello, A., Rendón Von Osten, J., Gold-Bouchot, G., C, Agraz-Hernández (Eds), *Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. 2 vol. UAC-UNAM-INE. pp. 361-372
- Heckel, G. 1992. Fotoidentificación de tursiones *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) en la Boca de Corazones de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México (Cetacea: Delphinidae). Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. 164 pp.
- 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. *E-BIOS*, 2, 34-51.
- Houbron, E. 2010. Calidad del agua. En: Florescano, E., Ortiz, J. (Eds.), *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz*. Universidad Veracruzana, Xalapa. pp: 147-170.
- Hubard, C. Maze-Foley, K., Mullin, K., Schroeder, W. 2004. Seasonal abundance and site fidelity of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Mississippi Sound. *Aquatic Mammals*, 30(2), 299-310.
- INE-SEMARNAT. 2006. La investigación ambiental para la toma de decisiones. INE-SEMARNAT. México D.F.

- INE-SEMARNAP. 1996. La calidad del agua en los ecosistemas costeros de México. INE-SEMARNAP. México D.F. pp 407.
- INEGI. 2015. Estadísticas a propósito del Día Mundial del Turismo (27 de septiembre). Datos Nacionales. Consultado el 13 de diciembre de 2017, de: <http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2015/turismo>
- IWC. 2017. Commercial whaling. Consultado el 12 de diciembre de 2017, de: <http://iwc.int/commercial/>
- Jaquet, N. 1996. How spatial and temporal scale influence understanding of sperm whale distribution: a review. *Mammalian Species*, 26, 51-65.
- Jefferson, T. A., Lynn, S. K. 1994. Marine mammal sightings in the Caribbean Sea and Gulf of Mexico, summer 1991. *Caribbean Journal of Science*, 30, 83-89.
- Jefferson, T., Schiro, A. 1997. Distribution of cetaceans in the offshore gulf of Mexico. *Mammal Review*, 27, 27-50.
- Jensen, A. S., Silber, G. K. 2004. Large whale ship strike database. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-25.
- Johnson, W.E., Franklin, W.L. 1994. Spatial resource partitioning by sympatric grey fox (*Dusicyon griseus*) and culpeo fox (*Dusicyon culpaeus*) in southern Chile. *Canadian Journal of Zoology*, 72, 1788-1793.
- Johnson, B.K., Kern, J.W., Wisdom, M.J., Findholt, S.L., Kie, J.G. 2000. Resource selection and spatial separation of mule deer and elk during spring. *Journal of Wildlife Management*, 64, 685-697.
- Kannan, K., Senthilkumar, K., Loganathan, B., Takahashi, S., Odell, K., Tanabe, S. 1997. Elevated accumulation of tributyltin and its breakdown products in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) found stranded along the U.S. Atlantic and Gulf coasts. *Environmental Science & Technology*, 31, 296-301.
- Karnauskas, M., Schirripa, M. J., Kelble, C. R., Cook, G. S., Craig, J. C. 2013. Ecosystem status report for the Gulf of Mexico. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-653.
- Kuehl, D., Haebler, R. 1995. Organochlorine, organobromine, metal, and selenium residues in bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) collected during an unusual mortality event in the Gulf of Mexico, 1990. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 28, 494-499.
- Kruse, S., Caldwell, D., Caldwell, M. C. 1999. Risso's dolphin *Grampus griseus* (G. Cuvier, 1812). En: S. H. Ridgway and R. Harrison (Eds), *Handbook of marine mammals*, pp. 183-212. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Lahvis, G., Wells, R., Kuehl, D., Stewart, J., Rhinehart, H., Via, C. 1995. Decreased lymphocyte responses in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) are associated with increased concentrations of PCB's and DDT in peripheral blood. *Environment Health Perspectives*, 103, 67-72.
- Laist, D., Knowlton, A., Mead, J., Collet, A., Podesta, M. 2001. Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science*, 17, 35-75.

- Landgrave, R., Moreno-Cassasola, P. 2012. Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. *Investigación ambiental*, 4, 19-35.
- Lara Lara, J. R., Arreola Lizárraga, J. A., Calderón Aguilera, L. E., Camacho Ibar, V. F., De La Lanza Espino, G., Escofet Giansone, A., Espejel Carvajal, M. I., Guzmán Arroyo, M., Ladah, L. B., López Hernández, M., Meling López, A. E., Moreno Casasola Barceló, P., Reyes Bonilla, H., Ríos Jara, E., Zertuche González, J. A. 2008. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales. En: Soberón, J., Halffter, G., Llorente-Bousquets (Eds.), *Capital natural de México*, Vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México D.F. pp. 109-134.
- Litz, J., Baran, M., Bowen-Stevens, S., Carmichael, R. 2014. Review of historical unusual mortality events (UMEs) in the Gulf of Mexico (1990–2009): providing context for the multi-year northern Gulf of Mexico cetacean UME declared in 2010. *Diseases of Aquatic Organisms*, 112, 161–175
- Lotze, H., Lenihan, H., Bourque, B., Bradbury, R., Cooke, R., Kat, M., Kidell, S., Kirby, M., Peterson, C., Jackson, J. 2006. Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*, 312, 1806-9.
- Lowry, L. 2015. *Neomonachus tropicalis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015. Consultado el 13 de septiembre de 2017 de <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-2.RLTS.T13655A45228171.en>.
- Lugo-Fernández, A., Green, R. 2011. Mapping the intricacies of the Gulf of Mexico's circulation. *EOS* 92, 21–22.
- Mahadevan, A., Thomas, L. N., Tandon, A. 2008. Comment on “Eddy/Wind Interactions Stimulate Extraordinary Mid-Ocean Plankton Blooms.” *Science*, 320, 448b–448b. <http://doi.org/10.1126/science.1152111>
- Manly, B. F. J. 1974. A model for certain types of selection experiments. *Biometrics*, 30, 281-294.
- Manly, B. F. J., McDonald, L. L., Thomas, D. L. 1993. *Resource selection by animals: Statistical design and analysis for field studies*. Chapman & Hall, London.
- Martinez-Serrano, I., Serrano, A., Heckel, G., Schramm, Y. 2011. Distribución y ámbito hogareño de toninas (*Tursiops truncatus*) en Veracruz, México. *Ciencias Marinas*, 37, 379-392.
- Maze-Foley, K., Mullin, K. 2006. Cetaceans of the oceanic northern Gulf of Mexico: Distributions, group sizes and interspecific associations. *Journal of Cetacean Research and Management*, 8, 203–213.
- McGillicuddy, D. 2016. Mechanisms of Physical-Biological-Biogeochemical Interaction at the Oceanic Mesoscale. *Annual Review of Marine Science*, 8, 125–159. <http://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-015606>
- Mendenssohn, I., Byrnes, M., Kneib, R., Vittor, B. 2017. Costal habitats of the Gulf of Mexico. En: C. H. Ward (Ed.). *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: Before the Deepwater Horizon oil spill*, Volume 2: Fish resources, fisheries, sea turtles, avian resources, marine mammals, diseases and mortalities. Springer Open, New York. pp 359-365.
- Mendoza-Reynosa, E. 2010. Evaluación de la salud de *Mugil curema valenciennes*, 1836 (Pisces: Mugilidae) de la laguna de Tampamachoco y el río Tuxpan, Veracruz, y su relación con factores ambientales. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. 106 pp.

- Moreno Casasola, P. 2016. La zona costera y sus ecosistemas. En: Moreno Casasola, P (Ed), Servicios ecosistémicos de las selvas y bosques costeros de Veracruz. INECOL-ITTO-CONAFOR-INECC. Pp. 19-36.
- Morteo, E., Rocha-Olivares, A., Abarca-Arenas, L. 2014. Sexual segregation in coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the south-western Gulf of Mexico. *Aquatic Mammals*, 40, 375-385.
- Morteo, E., Rocha-Olivares, A., Abarca-Arenas, L. 2017. Abundance, residency, and potential hazards for coastal bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) off a productive lagoon in the Gulf of Mexico. *Aquatic Mammals*, 43, 308-319.
- Morteo, E., Rocha-Olivares, A., Arceo-Briseño, P., Abarca-Arenas, L. 2012. Spatial analyses of bottlenose dolphin-fisheries interactions reveal human avoidance off a productive lagoon in the western Gulf of Mexico. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92, 1893-1900.
- Mössner, S., Ballschmiter, K. 1997. Marine mammals as global pollution indicators for organochlorines. *Chemosphere*, 34, 1285-1296.
- Mullin, K. D., and G. L. Fulling. 2004. Abundance of cetaceans in the oceanic Northern Gulf of Mexico, 1996-2001. *Marine Mammal Science*, 20, 787-807.
- Mullin, K., Hansen, J. 1999. Marine mammals of the northern gulf of Mexico. En: H. Kumpf, Steidinger K., Sherman, K. (Eds). *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: Assessment, sustainability, and management*. Blackwell Science, Malden. pp. 269-277.
- NOAA. 2015. Cetacean unusual mortality event in northern Gulf of Mexico. (2010-2014). Consultado el 06 de marzo de 2017, de: http://www.nmfs.noaa.gov/pr/health/mmume/cetacean_gulfofmexico_results.html
- Northridge, S. 1992. Actualización del estudio mundial de las interacciones entre los mamíferos marinos y la pesca. FAO documento técnico de pesca No. 251, Spl. 1. Roma.
- Nowacek, S., Wells, R., Solow, A. 2001. Short-term effects of boat traffic on bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science*, 17, 673-688.
- Ortega-Argueta, J., C. E. Pérez-Sánchez, G. Gordillo-Morales, O. Gordillo, D. Pérez, Alafita, H. 2005. Cetacean strandings on the southwestern coast of the Gulf of Mexico. *Gulf of Mexico Science*, 23, 179-185.
- Ortega-Ortiz, J. G. 2002. Multiscale analysis of cetacean distribution in the Gulf of Mexico. Tesis de doctorado en ciencias. Texas A&M University, College Station. 170 pp.
- Ortega-Ortiz, J. G., Delgado-Estrella, D., Ortega-Argueta, A. 2004. Mamíferos marinos del Golfo de México: estado actual del conocimiento y recomendaciones para su conservación En: Caso-Chávez, M., Pisanty, I., Ezcurra, E. (Eds.), *Diagnóstico ambiental del golfo de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto nacional de ecología, México D.F. pp. 137-162.
- Panigada, S., Lauriano, G., Burt, L., Pierantonio, N., Donovan, G. 2011. Monitoring winter and summer abundance of cetaceans in the Pelagos sanctuary (northwestern Mediterranean Sea) through aerial surveys. *PLoS ONE*, 6, 7, e22878. doi:10.1371/journal.pone.0022878

- Pasqueron de Fommervault, O., Pérez-Brunius, P., Damien, P., Camacho-Ibar, V. F., Sheinbaum, J. 2017. Temporal variability of chlorophyll distribution in the Gulf of Mexico: bio-optical data from profiling floats. *Biogeosciences*, 1424, 5647–5662. <http://doi.org/10.5194/bg-14-5647-2017>
- Patiño-Valencia, J. Ramírez, L. Ulloa-Ramírez, P. Pérez-Cortés Moreno, H. (2000). Interacción de calderones *Globicephala sp.* con las actividades de pesca del atún con palangre en el Golfo de México. Resúmenes XXV Reunión Internacional para el Estudio de los Mamíferos Marinos, 7-11 Mayo de 2000. La Paz, Baja California Sur, México.
- Perrin, W. F. 2001. *Stenella attenuata*. *Mammalian Species*, 683: 1-8.
- Perrin, W. F. 2002. *Stenella frontalis*. *Mammalian Species*, 702: 1-6.
- PEMEX. 2011a. Bloque Arenque, resumen ejecutivo. Activo integral Poza Rica-Altamira Petróleos Mexicanos (PEMEX). México D.F.
- PEMEX. 2011b. Bloque Atún, resumen ejecutivo. Activo integral Poza Rica-Altamira Petróleos Mexicanos (PEMEX). México D.F.
- PEMEX. 2015. Reservas de hidrocarburos al 1ro de enero de 2015. Consultado el 13 de diciembre de 2017, de: <http://www.pemex.com/ri/Publicaciones/Paginas/ReservasHidrocarburos.aspx>
- Pledger, S., Geange, S., Hoare, J., Pérez-Matus, A. 2007. Resource Selection: Test and Estimation using Null Models. School of Biological Science. University of Victoria, Wellington.
- Ponce Vélez, G., Botello, A. 2005. Niveles de hidrocarburos en el Golfo de México. En: Botello, V., Rendón-von Osten, J., Gold-Bouchot, G., Agraz-Hernández, C. (Eds.), Golfo de México contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias. UACAM-UNAM-INECOL. México D.F. pp. 269-298.
- PROFEPA. 2017. Delitos ambientales. Consultado el 15 de diciembre de 2017, de: http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/v/535/1/mx/delitos_ambientales.html
- Rahmstorf, S. 2007. A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, 315, 368–70
- Read, A. 2008. The looming crisis: interactions between marine mammals and fisheries. *Journal of Mammalogy*, 89, 541-548.
- Read, A., Drinker, P., Northridge, S. 2005. Bycatch of marine mammals in U.S. and global fisheries. *Conservation Biology*, 20, 163-169.
- Reeves, R., Stewart, B., Clapham, P., Powell, J. 2002. Guide to marine mammals of the world. Alfred A. Knopf Inc., New York.
- Richardson, W., Würsig, B., Greene, C. 1990. Reactions of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, to drilling and dredging noise in the Canadian Beaufort Sea. *Marine Environment Research*, 29, 135-160.
- Roberts, J., Best, B., Manocci, L., Fujioka, E., Halpin, P., Palka, D., Garrison, L., Mullin, K., Cole, T., Khan, C., McLellan, W., Pabst, A., Lockhart, G. 2016. Habitat-based cetacean density models for the U.S. Atlantic and Gulf of Mexico. *Scientific Reports*, 6. doi: 10.1038/srep22615
- Rombouts, I., Beaugrand, G., Artigas, L., Dauvin, J., Gevaert, F., Goberville, E., Kopp, D., Lefebvre, S., Luczak, C., Spilmont, N., Travers-Trolet, M., Villanueva, M., Kirby, R. 2013. Evaluating marine ecosystem

health: Case studies of indicators using direct observations and modelling methods. *Ecological Indicators*, 24, 353-365.

Rzedowski, D. 1986. *La vegetación de México*. Limusa. México. pp. 432.

SAGARPA. 2012. *Anuario estadístico de acuicultura y pesca 2012*. SAGARPA. México D.F.

Salata, G., Wade, T., Sericano, J., Davis, J., Brooks, J. 1995. Analysis of Gulf of Mexico bottlenose dolphins for organochlorine pesticides and PCBs. *Environmental Pollution*, 88, 167-175.

Schaefer, A., Bossart, D., Mazzoil, M., Fair, P., Reif, J. 2011. Risk factor for colonization of *E. coli* in Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in the Indian River Lagoon, Florida. *Journal of Environmental and Public Health*, 8, doi:10.1155/2011/597073.

Scheel D.M., Slater G.J., Kolokotronis S-O., Potter C.W., Rotstein D.S., Tsangaras K., Greenwood, A.D., Helgen, K.M. 2014. Biogeography and taxonomy of extinct and endangered monk seals illuminated by ancient DNA and skull morphology. *ZooKeys*, 409, 1-33.

SCT. 2016. Informe estadístico mensual movimiento de carba, buques y pasajeros. SCT. México D.F.

SCT. 2017. Sistema Portuario Nacional. Consultado 13 de diciembre de 2017, de: <http://www.sct.gob.mx/puertos-y-marina/puertos-de-mexico/>

SECTUR. 2017a. Guía de atractivos turísticos en Veracruz. Consultado el 12 de mayo de 2017, de: www.sectur.com.mx

SECTUR. 2017b. Guía de atractivos turísticos en Tamaulipas. Consultado el 12 de mayo de 2017, de: www.sectur.com.mx

SEMAR. 2017. Derrotero mexicano digital. Consultado el 24 de mayo de 2017, de: <http://digaohm.semar.gob.mx/derrotero/derrotero.html>

SEMARNAT. 2006. Política ambiental nacional para el desarrollo sustentable de océanos y costas de México. SEMARNAT, México, D.F.

SENER. 2013. Dictamen técnico del proyecto de explotación Lankahuasa .SENER-CNIH. México D.F.

SENEAM. 2004. Manual de procedimientos de control de tránsito Aéreo. Dirección de Tránsito Aéreo, México D.F.

Shepard, A. N, Valentine, J. F., D'Elia, C. F., Yoskowitz, D. W., Dismukes. D. E. 2013. Economic impact of the Gulf of Mexico ecosystem goods and services and integration into restoration decision-making. *Gulf of Mexico Science*, 31, 10-27.

Slooten, E., Dawson, S., Rayment, W. 2004. Aerial surveys for coastal dolphins: abundance of Hector's dolphins off the south island west coast, New Zealand. *Marine Mammal Science*, 20, 477-490.

Sosa-Fragoso, G. 2002. Situación actual de la acuicultura en Veracruz. En: Guzmán-Amaya, P., Quiroga-Brahms, C., Díaz-Luna, P., Fuentes-Castellanos, D. (Eds.), *La pesca en Veracruz y sus perspectivas y desarrollo*. INAPESCA-Universidad Veracruzana, México D.F. pp. 22-24.

- Soldevilla, M., Garrison, L., Scott-Denton, E., Nance, J. (2015). Estimation of marine mammal bycatch mortality in the Gulf of Mexico shrimp otter trawl fishery. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-672.
- Trujillo-González, F. 2001. Habitat use and social behaviour of the freshwater dolphin *Inia geoffrensis* in the Amazon and Orinoco basins. Tesis de doctorado en ciencias. University of Aberdeen. 67 pp.
- Valdés-Arellanes, M. P., Serrano, A., Heckel, G., Schramm, Y., Martínez-Serrano, I. 2011. Abundance of two populations of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in northern Veracruz, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82, 227-235.
- Vázquez-Botello, A., Villanueva-Fragoso, S., Rosales-Hoz, L. 2004. Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México. En: Caso-Chávez, M., Pisanty, I., Ezcurra, E. (Eds.), Diagnóstico ambiental del golfo de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto nacional de ecología, México D.F. pp. 683-712.
- Vázquez-Castán, L., Serrano, A., Galindo, J. 2009. Estudio preliminar sobre la diversidad, distribución y abundancia de cetáceos en aguas profundas del Golfo de México. *Revista Científica UDO agrícola*, 9, 992-997.
- Vázquez-Castán, L., Serrano, A., López-Ortega, M., Galindo, J., Valdés-Arellanes, M., Naval-Ávila, C. 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, 285-292.
- Valenzuela Robles Linares, J. M. 2010. Yacimientos transfronterizos de hidrocarburos. Entre el hecho jurídico y el diplomático. *Anuario Mexicano de Derecho Internacional*, 10: 353-388.
- Vera-Castillo, G. 2003. Estado de la diversidad genética de los árboles y bosques en el sur y sureste de México. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma.
- Vera Vásquez, R. 2015. Actividad petrolera en el Golfo de México: historia, derrames y política internacional de integridad de los océanos. En: Roux, R., Flores Torres, O. (Eds.). Los hidrocarburos en el noreste de México. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Ciudad Victoria. pp. 15-47.
- Vianna, J.A., Bonde, R.K., Caballero, S., Giraldo, J.P., Lima, R.P., Clark, A., Marmontel, M., Morales-Vela, B., De Souza, M.J., Parr, L., Rodríguez-Lopez, M.A., Mignucci-Giannoni, A.A., Powell, J.A., Santos, F.R. 2006. Phylogeography, phylogeny and hybridization in trichechid sirenians: implications on manatee conservation. *Molecular Ecology*, 15, 433-447.
- Villanueva Sierra, J. J. 2015. Los hidrocarburos en Tamaulipas ante la Reforma Energética: ¿Oportunidad o probabilidad de desarrollo? Examinando el vínculo entre energía, sociedad y desarrollo. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades*, 35, 141-161.
- Villanueva, S., Botello, A. 1992. Metales pesados en la zona costera del golfo de México y caribe Mexicano: una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 8, 47-61.
- Wade, P., Gerrodette, T. 1993. Estimates of cetacean abundance and distribution in the eastern tropical Pacific. *Reports of International Whaling Commission* 43, 477-494.

- Waring, G. T., Josephson, E., Maze-Foley, K., Rosel, P. E. 2016. US Atlantic and Gulf of Mexico marine mammal stock assessments – 2015. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-238.
- Wells, R. S., Manire, C. A., Byrd, L., Smith D. R., Gannon, J. G., Fauquier, D., Mullin, K. D. 2009. Movements and dive patterns of a rehabilitated Risso's dolphin, *Grampus griseus*, in the Gulf of Mexico and Atlantic Ocean. *Marine Mammal Science*, 25, 420-429.
- Williams, R., Gero, S., Bejder, L., Calambokidis, J., Kraus, S., Lusseau, D., Read, A., Robbins, J. 2011. Underestimating the damage: interpreting cetacean carcass recoveries in the context of the Deepwater Horizon/BP incident. *Conservation Letters*, 4, 228–233.
- Wilson, B., Thompson, P.M., Hammond, P.S. 1997. Habitat use by bottlenose dolphins: seasonal distribution and stratified movement patterns in the Moray Firth, Scotland. *Journal of Applied Ecology*, 34, 1365-1374.
- Wiseman, W., Sturges, W. 1999. Physical oceanography of the Gulf of Mexico: Processes that regulate its biology. En: H. Kumpf, Steidinger K., Sherman, K. (Eds). *The Gulf of Mexico large marine ecosystem: Assessment, sustainability, and management*. Blackwell Science, Malden. pp. 103-132.
- WPS. 2017. Waterways gulf of Mexico. Consultado el 06 de septiembre de 2017, de: http://www.worldportsource.com/waterways/Gulf_of_Mexico_27.php
- Würsig, B. 2017. Marine mammals of the Gulf of Mexico. En: C. H. Ward (Ed.). *Habitats and biota of the Gulf of Mexico: Before the Deepwater Horizon oil spill, Volume 2: Fish resources, fisheries, sea turtles, avian resources, marine mammals, diseases and mortalities*. Springer Open, New York. pp. 1489-1588.
- Würsig, B., Würsig, M. 1979 Behavior and ecology of the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, in the South Atlantic. *Fishery Bulletin*, 77, 399-412.
- Yáñez-Arancibia, A., Day, J. 2004. The Gulf of Mexico: towards an integration of coastal management with large marine ecosystem management. *Ocean & Coastal Management*, 47, 537-563.
- Zárate-Lomelí, D., Yáñez-Arancibia, A., Day, J., Ortíz-Pérez, M., Lara-Domínguez, A., Ojeda de la Fuente, C., Morales-Arjona, L., Guevara-Sada, S. 2004. Lineamientos para el programa regional de manejo integrado de la zona costera del Golfo de México y el Caribe. En: Caso-Chávez, M., Pisanty, I., Ezcurra, E. (Eds.), *Diagnóstico ambiental del golfo de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto nacional de ecología, México D.F. pp. 899-936.
- Zavala-Hidalgo, J., Buen-Kalman, R., Romero-Centeno, R., Hernández-Maguey, F. 2010. Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas. En: Botello, A. V., Villanueva-Fragoso, S., Gutiérrez, J., Rojas Galaviz, J. (Eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. SEMARNAT-INE, UNAM-ICMYL, UACAM. pp 249-268.
- Zavala-Hidalgo, J., Morey, S. L., O'Brien, J. J. 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research*, 108 (C12), 3389. doi: 10.1029/2003JC001879

ANEXO I
Investigadores participantes en la encuesta

Nombre	Institución	Línea de investigación
Dr. Eduardo Morteo Ortiz	Universidad Veracruzana	Ecología de cetáceos en el golfo de México.
Dra. Paloma Ladrón de Guevara Porras	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas	Ecología de los mamíferos marinos en el golfo de México.
Dra. Xóchitl Guzmán García	Universidad Autónoma Metropolitana	Partículas contaminantes en el golfo de México.
M. C. Carlos Peynador Sánchez	LORAX Consultores SA. de CV.	Manejo de Zona Costera, Oceanografía Física y Economía de recursos naturales.
Dr. Juan Carlos Herguera García	Centro de Investigaciones Científicas y de Estudios Superiores de Ensenada	Procesos biogeoquímicos y cambio global.
Dra. Patricia Moreno-Cassasola Barceló	Instituto de Ecología	Ecología y conservación de la zona costera del GM.
Lic. Blanca Mónica Zapata Nájera	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas	Encargada del santuario de tortugas "Playas de rancho nuevo".
Dr. Leonardo Dagoberto Ortiz Lozano	Universidad Veracruzana	Estrategias para el manejo de recursos en zonas costeras de Veracruz
Dra. Laura Elena Sanvicente Añorve	Instituto de Ciencias del Mar y Limnología- Universidad Nacional Autónoma de México	Ecología del zooplancton marino, morfometría de organismos marinos y análisis de comunidades acuáticas.

ANEXO II

Acciones para las unidades de gestión ambiental de la costa oeste del golfo de México establecidas en el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe

Acción	Tema	Unidades de gestión ambiental									Descripción
		159	160	161	162	163	164	165	200	201	
A-007	Conservación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Promover la constitución de áreas destinadas voluntariamente a la conservación ó ANP en áreas aptas para la conservación o restauración de ecosistemas naturales.
A-008	Conservación	X	X								Evitar las actividades humanas en las playas de anidación de tortugas marinas, salvo aquellas que estén autorizadas en los programas de conservación.
A-013	Conservación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Establecer las medidas necesarias para evitar la introducción de especies potencialmente invasoras por actividades marítimas.
A-016	Conservación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Establecer corredores biológicos para conectar las ANP existentes o las áreas en buen estado de conservación dentro del ASO.
A-018	Conservación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Impulsar los programas y acciones de recuperación de especies bajo algún régimen de protección en la NOM-059 SEMARNAT.
A-022	Restauración ambiental	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Fomentar programas de remediación y monitoreo de zonas y aguas costeras afectadas por hidrocarburos.
A-025	Restauración ambiental	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Efectuar programas de remediación y de rehabilitación integral de sitios contaminados por actividades industriales.
A-029	Modificación de la línea costa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Evitar la modificación del perfil de la costa o la modificación de los patrones de circulación de las corrientes alineadas a la costa.
A-030	Modificación de la línea costa					X			X	X	Generar o adaptar tecnologías constructivas y de ingeniería que minimicen la afectación al perfil costero y a los patrones de circulación de aguas costeras.
A-033	Energía	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Fomentar el aprovechamiento de la energía eólica excepto cuando su infraestructura pueda afectar corredores de especies migratorias.
A-034	Energía	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Fomentar mecanismos de generación de energía eléctrica usando la fuerza mareomotriz.
A-040	Pesquerías	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Impulsar la sustitución de las actividades de pesca extractiva por actividades de producción acuícola con especies nativas de la zona.

A-041	Pesquerías	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Fortalecer los mecanismos de seguimiento y control de las pesquerías comerciales para evitar su sobreexplotación.
A-042	Pesquerías	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Instrumentar o en su caso reforzar las campañas de vigilancia de las actividades extractivas de especies marinas de captura comercial.
A-044	Pesquerías	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Diversificar la base de especies en explotación comercial en las pesquerías.
A-045	Pesquerías	X	X	X	X				X		Desarrollar e impulsar el uso de la fauna de acompañamiento, salvo las especies que se encuentran en algún régimen de protección, para la producción comercial de harinas y complementos nutricionales.
A-046	Restauración ambiental	X	X	X	X	X			X	X	Incentivar el cumplimiento de los mecanismos existentes para controlar el vertido y disposición de residuos de embarcaciones, en las porciones marinas tanto costeras como oceánicas.
A-047	Pesquerías	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Monitorear las comunidades planctónicas y áreas de mayor productividad marina para ligar los programas de manejo de pesquerías de manera predictiva con estos elementos.
A-048	Pesquerías	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Redimensionar, y ajustar las flotas pesqueras y los esfuerzos de captura a las capacidades y estados actuales y previsibles de las poblaciones en explotación.
A-049	Infraestructura	X	X	X	X	X			X	X	Construir, modernizar y ampliar la infraestructura portuaria de apoyo a la producción pesquera y turística para embarcaciones menores.
A-071	Turismo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Diseñar e instrumentar acciones coordinadas entre sector turismo y sector conservación para reducir al mínimo la afectación de los ecosistemas en zonas turísticas y aprovechar al máximo el potencial turístico de los recursos. Impulsar y fortalecer las redes de turismo de la naturaleza (ecoturismo).
A-074	Infraestructura					X					Construir, modernizar y ampliar la infraestructura portuaria de gran tamaño de apoyo al tráfico comercial de mercancías; con obras sustentadas en estudios específicos, modelaciones predictivas y programas de monitoreo, que garanticen la no afectación de los recursos naturales.
A-078	Infraestructura					X				X	Se podrá realizar mantenimiento y/o modernizar la infraestructura existente para el desarrollo de actividades de las Secretarías de Marina, de Comunicaciones y Transportes, Comisión Federal de Electricidad y/o de Petróleos Mexicanos siempre que se respete la estructura y función de las formaciones coralinas y no perturbe a las especies arrecifales de la vida silvestre.

A-090	Pesquerías	X									Promover la maricultura (en jaulas flotantes) como actividad de fomento pesquero de baja intensidad.
A-092	Pesquerías	X									Promover y vigilar el manejo pesquero sustentable de la pesquería de camarón, pulpo y jaiba en la región.
A-093	Pesquerías	X									El manejo de la pesquería de caracol deberá sujetarse a las regulaciones de la NOM-013-PESC-1994 y las consideraciones de la Carta Nacional Pesquera.
A-094	Pesquerías	X									Promover la investigación del estado y condiciones de las poblaciones de caracol y las condiciones ambientales de su hábitat, para dar mayor soporte al manejo y regulación de su pesquería

ANEXO III

Acciones para la Zona Costera Inmediata del sur del golfo de México establecidas en el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe

Acción	Tema	Descripción
ZGS-01	Conservación	Dado que los pastos marinos representan importantes ecosistemas para la fauna marina, debe promoverse su conservación y preservación, por lo que se debe evitar su afectación y pérdida en caso de alguna actividad o proyecto. En todo caso deberán presentarse los estudios de impacto ambiental respectivo donde se demuestre la no afectación y pérdida severa de los mismos para cualquier actividad que pretende llevarse a cabo.
ZGS-02	Conservación	Se prohíbe la captura de mamíferos marinos, aves y reptiles salvo para fines de investigación, rescate y traslado con fines de conservación y preservación.
ZGS-03	Conservación	Las embarcaciones utilizadas para la pesca comercial o deportiva deberán portar los colores y claves distintivas asignadas por la SEMARNAT, así como el permiso de pesca correspondiente.
ZGS-04	Conservación	Salvo en casos de rescate o con fines científicos para su conservación y preservación, no se debe permitir la recolección, remoción o trasplante de organismos vivos o muertos en las zonas arrecifales u otro ecosistema.
ZGS-05	Conservación	Como una medida preventiva para evitar contaminación marina no debe permitirse el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos de ningún tipo en los cuerpos de agua en esta zona.
ZGS-06	Conservación	Con el fin de prevenir la contaminación y deterioro de las zonas marinas, es recomendable la difusión de las normas ambientales correspondientes en toda actividad náutica en la zona.
ZGS-07	Modificación de la línea de costa	Se requerirá que en caso de alguna actividad relacionada con obras de canalización y dragado debidamente autorizadas, se utilicen mallas geotextiles y otras tecnologías que eviten la suspensión y dispersión de sedimentos, en el caso de que exista el riesgo de que se afecten o resulten dañados recursos naturales por estas obras.
ZGS-08	Modificación de la línea de costa	Los proyectos relacionados con marinas y muelles de gran tamaño, deberán contar con estudios de impacto ambiental que incluyan estudios batimétricos, topográficos, de mecánica de suelos y geohidrológicos, donde se demuestre que se asegura el mantenimiento de los procesos de transporte litoral, la calidad del agua marina, y la no afectación de comunidades marinas presentes en la zona, así como autorización por parte del INAH en caso de existir vestigios arqueológicos en el sitio.
ZGS-09	Conservación	Por las características de los efluentes de los sistemas asociados a la zona del Grijalva-USUMACINTA y el Coatzacoalcos, ricos en nutrientes derivados de uso de agroquímicos y fertilizantes así como de la naturaleza misma de los suelos de la cuenca y por la abundante carga de contaminantes de origen urbano e industrial que arrastran los cauces en la región, se recomienda en las UGA terrestres correspondientes (UGA:64, UGA:66, UGA:67, UGA:69 y UGA:71) estudiar la factibilidad y promover la creación de áreas de protección mediante políticas, estrategias y control de uso del suelo en esquemas como los Ordenamientos Ecológicos locales o mediante el establecimiento de ANP federales, estatales, municipales, o privadas que actúen de manera sinérgica para conservar los atributos del sistema costero colindante y contribuyan a completar un corredor de áreas protegidas sobre toda la zona costera del Golfo de México.

ANEXO IV

Acciones para la Zona Costera Inmediata del oeste del golfo de México establecidas en el Programa de Ordenamiento Ecológico Marino y Regional del Golfo de México y Mar Caribe

Acción	Tema	Descripción
ZGN-01	Conservación	Con el fin de proteger y preservar las comunidades arrecifales, principalmente las de mayor extensión, y/o riqueza de especies en la zona, y aquellas que representan valores culturales particulares, se recomienda no construir ningún tipo de infraestructura en dichas comunidades.
ZGN-02	Conservación	Dado que los pastos marinos representan importantes ecosistemas para la fauna marina, debe promoverse su conservación y preservación, por lo que se debe evitar su afectación y pérdida en caso de alguna actividad o proyecto. En todo caso deberán presentarse los estudios de impacto ambiental respectivo donde se demuestre la no afectación y perdida severa de los mismos para cualquier actividad que pretende llevarse a cabo.
ZGN-03	Conservación	Se prohíbe la captura de mamíferos marinos, aves y reptiles salvo para fines de investigación, rescate y traslado con fines de conservación y preservación.
ZGN-04	Conservación	Con el fin de preservar zonas coralinas, principalmente las más representativas por su extensión, riqueza y especies presentes, la ubicación y construcción de posibles puntos de anclaje deberán estar sujetas a estudios específicos que la autoridad correspondiente solicite.
ZGN-05	Conservación	Salvo en casos de rescate o con fines científicos para su conservación y preservación, no se debe permitir la recolección, remoción o trasplante de organismos vivos o muertos en las zonas arrecifales u otro ecosistema.
ZGN-06	Conservación	Con el objeto de coadyuvar en la preservación de las especies de tortugas que año con año arriban en el estado, es recomendable que las actividades recreativas marinas no se realicen a partir del ocaso hasta el amanecer, esto en la temporada de anidación, principalmente en aquellos sitios de mayor incidencia de dichas especies.
ZGN-07	Conservación	Como una medida preventiva para evitar contaminación marina no debe permitirse el vertimiento de hidrocarburos y productos químicos de ningún tipo en los cuerpos de agua en esta zona.
ZGN-08	Modificación de la línea de costa	Se requerirá que en caso de alguna actividad relacionada con obras de canalización y dragado debidamente autorizadas, se utilicen mallas geotextiles y otras tecnologías que eviten la suspensión y dispersión de sedimentos, en el caso de que exista el riesgo de que se afecten o resulten dañados recursos naturales por estas obras.
ZGN-09	Conservación	Con el objetivo de preservar las comunidades arrecifales en la zona, es importante que cualquier actividad que se lleve a cabo en ellos y su zona de influencia estén sujetas a permisos avalados que garanticen que dichas actividades no tendrán impactos adversos sobre los valores naturales o culturales de los arrecifes, en base a estudios específicos que determinen la capacidad de carga de los mismos.
ZGN-10	Modificación de la línea de costa	En caso de algún proyecto relacionado con marinas, es necesario la presentación de estudios de impacto ambiental y autorización por parte del INAH en caso de existir vestigios arqueológicos en el sitio, así como específicos como estudios batimétricos, topográficos, de mecánica de suelos y geohidrológicos, donde se demuestre que se asegura el mantenimiento

		de los procesos de transporte litoral, la calidad del agua marina, y la no afectación de comunidades marinas presentes en la zona.
ZGN-11	Conservación	Las embarcaciones utilizadas para la pesca comercial o deportiva deberán portar los colores y claves distintivas asignadas por la SEMARNAT, así como el permiso de pesca correspondiente.
ZGN-12	Modificación de la línea de costa	En caso de construcción, rehabilitación y modificaciones a muelles de gran tamaño y estructuras similares, es necesario la presentación del manifiesto de impacto ambiental y autorización por parte del INAH en caso de existir vestigios arqueológicos en el sitio, así como de los estudios específicos que se requieran por parte de las autoridades, todo esto con el fin de garantizar el mantenimiento de los procesos de transporte litoral, la calidad del agua marina y la no afectación de comunidades marinas presentes en la zona.
ZGN-03	Conservación	Por las características de los efluentes de los sistemas asociados a la zona de las ANP Arrecife Lobos y Sistema Arrecifal Veracruzano, se recomienda en las UGA terrestres correspondientes (UGA:5, UGA:12 a UGA:20 y UGA:26 a UGA:37) estudiar la factibilidad y promover la creación de áreas de protección mediante políticas, estrategias y control de uso del suelo en esquemas como los Ordenamientos Ecológicos locales o mediante el establecimiento de ANP federales, estatales, municipales, o privadas que actúen de manera sinérgica para conservar los atributos del sistema Arrecifal colindante y contribuyan a completar un corredor de áreas protegidas sobre toda la zona costera del Golfo de México en particular la zona de humedales costeros del norte de Veracruz y Tamaulipas.