



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

**“EVALUACIÓN ESPACIAL DEL RIESGO DE COLISIÓN POR
EMBARCACIONES PARA MANATÍES EN LA RESERVA DE LA
BIOSFERA SIAN KA’AN (RBSK)”**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

Maestra en Ciencias Marinas y Costeras

PRESENTA

Biól. Irma Daniela Aguilera Miranda

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Delma Nataly Castelblanco Martínez

CO-DIRECTOR DE TESIS

Dr. Julián Andrés Velasco Vinasco

ASESORES

Dr. Eric Ángel Ramos

Dr. Adrián Cervantes Martínez

Dr. Oscar Frausto Martínez



COZUMEL, QUINTANA ROO, MÉXICO, FEBRERO 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE DESARROLLO SUSTENTABLE

COMITÉ DE TESIS

DIRECTORA: **Dra. Delma Nataly Castelblanco Martínez**

CO-DIRECTOR: **Dr. Julián Andrés Velasco Vinasco**

ASESOR: **Dr. Eric Ángel Ramos**

ASESOR: **Dr. Adrián Cervantes Martínez**

ASESOR: **Dr. Oscar Frausto Martínez**



COZUMEL, QUINTANA ROO, MÉXICO, FEBRERO 2023.

DEDICATORIA

A cualquiera que dedique el tiempo de leer esta tesis.

A todos los que hacen accesible la ciencia o investigación científica.

A mis padres y hermanos, gracias por estar en los momentos difíciles.

A mi hermana Zulema que espero esta tesis le sirva de motivación para su futura investigación arqueológica.

A mis gorditas peludas por hacerme compañía, Gris y Mika.

Y, a todos los que participaron en este proyecto.

“Cinco sirenitas te llevarán, por caminos de algas y de coral”

-Mercedes Sosa, 1969.

AGRADECIMIENTOS

A la UAEQRoo por darme la oportunidad de llevar a cabo este estudio en el programa de Maestría en Ciencias Marinas y Costeras (MCMC).

Al CONACyT por la beca otorgada (No. 1071312) para culminar el programa de maestría.

A la CONANP por el permiso para realizar esta investigación en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (RBSK).

A mis directores de tesis, Dra. Nataly Castelblanco primeramente por la oportunidad brindada para participar en este gran proyecto, por compartir todo su conocimiento y pasión acerca de los manatíes y por el apoyo durante la etapa de la tesis. Al Dr. Julián Velasco por su valiosa aportación gracias a su retroalimentación y orientación en todo momento, por la información y herramientas brindadas que hicieron posible la ejecución de este trabajo.

A los miembros de mi comité, Dr. Adrián Cervantes Martínez, Dr. Oscar Frausto Martínez y Dr. Eric Ramos por sus importantes observaciones y recomendaciones para esta tesis, por compartir su conocimiento y entusiasmo por las ciencias marinas, fue todo un aprendizaje para mí. Admiro mucho su trayectoria académica.

A todos los demás profesores de la maestría que apoyaron académicamente. A la Dra. Natalia Garces por su apoyo durante la logística de campo en Punta Allen.

A las Sociedades Cooperativas de Servicios Turísticos: Punta Allen, Los Gaytanes, Las Boyas, Los Nativos y Tours Caapechén y a las Sociedades Cooperativas de Producción Pesquera: Vigía Chico, Cozumel y José María Azcorra, por su entregada participación en las encuestas y entrevistas realizadas en esta investigación.

A las comunidades locales de Sian Ka'an: Punta Allen y Punta Herrero, por la cálida bienvenida y recibimiento. En especial a la familia Ramírez (Luci y Juan) y Don Víctor, por su hospitalidad, amabilidad, apoyo en la logística de campo y por la delicia gastronómica. Gracias por todas esas pláticas interesantes y especiales. A Pablo, Pepe, Don José, Pedro y a cada uno de los muchachos por el apoyo en campo en Bahía Espíritu Santo y quienes estuvieron pendientes en todo momento. Gracias por el recorrido para avistar a los rechonchos manatíes y por deleitarnos con sus recetas de langosta.

A mi colega y amigo Biol. Andrés Espejel por su apoyo en campo y motivación en este proceso de investigación.

ÍNDICE

1.	RESUMEN	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	2
3.	MARCO TEÓRICO	3
3.1.	Biología del manatí antillano (<i>Trichechus manatus manatus</i>).....	3
3.1.1.	Filogenia	3
3.1.2.	Morfología.....	3
3.1.3.	Reproducción.....	4
3.1.4.	Dieta	4
3.2.	Distribución geográfica.....	5
3.3.	Comportamiento.....	6
3.4.	Uso de hábitat.....	6
3.5.	Estado de Conservación	7
3.6.	Amenazas	7
3.6.1.	Tráfico de embarcaciones	8
3.7.	Modelos de distribución de especies.....	9
3.8.	Evaluaciones de riesgo	10
3.9.	Riesgo de colisión	12
3.9.1.	Factores de riesgo	12
3.10.	Marco conceptual del modelo InVEST	15
3.10.1.	Modelo de Evaluación de riesgo del hábitat (Habitat Risk Assessment HRA)	15
4.	ANTECEDENTES	20
5.	JUSTIFICACIÓN	23
6.	HIPÓTESIS	24
7.	OBJETIVOS	24
7.1.	Objetivo general.....	24
7.2.	Objetivos particulares.....	24
8.	ÁREA DE ESTUDIO	25
9.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
9.1.	Metodología de la aplicación de encuestas.....	27
9.1.1.	Diseño de la investigación cualitativa.....	27
9.1.2.	Muestra.....	27
9.1.3.	Instrumento	28
9.1.4.	Análisis	28

9.2.	Metodología del modelo de nicho ecológico	30
9.2.1.	Colecta de datos	30
9.3.	Metodología y criterios del modelo de riesgo (HRA).....	34
9.3.1.	Clasificación de los criterios de resiliencia.....	34
9.3.2.	Criterios de consecuencia-sensibilidad	36
9.3.3.	Criterios de exposición	38
10.	RESULTADOS	43
10.1.	Encuestas.....	43
10.2.	Modelo de nicho ecológico.	67
10.3.	Modelo de riesgo	70
11.	DISCUSIÓN.....	76
12.	CONCLUSIONES	82
13.	RECOMENDACIONES.....	82
14.	Literatura citada.....	84
15.	Anexos	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de la gestión de riesgos en un contexto de gestión espacial basado en ecosistemas.....	11
Figura 2. Exposición y consecuencia para evaluar el riesgo del hábitat o especie e identificar estrategias de gestión.....	16
Figura 3. Cálculo de riesgo euclidiano por el modelo Habitat Risk Assessment (HRA)..	17
Figura 4. Área de estudio: Reserva de la Biosfera Sian Ka'an.....	26
Figura 5. Mapa de avistamientos de manatí antillano en la RBSK (2009-2021).....	31
Figura 6. Observaciones de manatí registradas durante las salidas de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2021.....	32
Figura 7. Observaciones de manatí registradas durante la salida de noviembre de 2021.....	33
Figura 8. Frecuencia absoluta por localidad según el tipo de actividad marítima.....	45
Figura 9. Frecuencia absoluta por localidad según la zona de trabajo.....	46
Figura 10. Frecuencia absoluta por localidad según la intensidad de trabajo.....	47
Figura 11. Frecuencia absoluta por localidad según la temporada de la actividad.....	48
Figura 12. Frecuencia absoluta por localidad según el tipo de embarcación.....	49
Figura 13. Frecuencia absoluta por localidad según el tamaño del motor.....	50
Figura 14. Frecuencia absoluta por localidad según la longitud de la embarcación.....	51
Figura 15. Frecuencia absoluta por localidad según la velocidad de tránsito de la embarcación.....	52
Figura 16. Frecuencia absoluta por localidad según los sitios de presencia del manatí...	54
Figura 17. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción de la importancia que representa el manatí.....	55
Figura 18. Frecuencia absoluta por localidad según el número de manatíes avistados...	56
Figura 19. Frecuencia absoluta por localidad según el lugar de registro de colisión por embarcación.....	57
Figura 20. Frecuencia absoluta por localidad según el número de casos de colisión por embarcación.....	58
Figura 21. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción de la frecuencia de los casos de colisión por embarcación.....	59
Figura 22. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción de la afectación de las colisiones en la población de manatí.....	60
Figura 23. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción sobre el riesgo de colisión por tráfico de embarcaciones.....	61
Figura 24. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción sobre el riesgo de colisión por la velocidad de la embarcación.....	62

Figura 25. Frecuencia absoluta por localidad según el conocimiento legal de navegación.....	63
Figura 26. Rutas de las embarcaciones en Bahía Ascensión obtenidas por los participantes.....	64
Figura 27. Rutas de las embarcaciones en Bahía Espíritu Santo obtenidas por los participantes.....	65
Figura 28. Rutas registradas directamente de la actividad turística y pesquera en la porción de Lagunas de la RBSK.....	66
Figura 29. Rutas registradas directamente de la actividad pesquera en la Bahía Espíritu Santo.....	66
Figura 30. Curva respuesta del manatí para batimetría y salinidad.....	68
Figura 31. Áreas con probabilidad de ocurrencia del manatí en la RBSK creado por el modelo Maxent.....	69
Figura 32. Curva ROC generado por el modelo de predicción de Maxent.....	70
Figura 33. Mapa de riesgo de colisión con embarcaciones para manatí en la RBSK.....	71
Figura 34. Gráfica de las puntuaciones de consecuencia y exposición para cada hábitat-estresor.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Códigos y subcódigos de las encuestas para el análisis en ATLAS.ti.....	28
Tabla 2.	Registros de presencia de manatí en la RBSK.....	30
Tabla 3.	Registros de avistamientos de manatí durante las salidas de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2021.....	31
Tabla 4.	Registros de avistamientos de manatí durante la salida de noviembre de 2021.....	33
Tabla 5.	Descripción y calificación de los criterios de exposición y consecuencia.....	40
Tabla 6.	Criterios de consecuencia para cada actividad marítima en ambas bahías de la RBSK.....	41
Tabla 7.	Criterios de exposición para cada actividad marítima en ambas bahías de la RBSK.....	42
Tabla 8.	Calificación para la calidad de los datos para la evaluación del riesgo de colisión.....	42
Tabla 9.	Edad de los participantes por localidad.....	43
Tabla 10.	Sexo de los participantes por localidad.....	44
Tabla 11.	Tiempo de residir en la región de los participantes por localidad.....	44
Tabla 12.	Tipo de actividad marítima respondida por los participantes de cada localidad.....	45
Tabla 13.	Zona de trabajo respondida por los participantes de cada localidad.....	46
Tabla 14.	Intensidad de trabajo respondida por los participantes de cada localidad.....	47
Tabla 15.	Temporada de la actividad respondida por los participantes de cada localidad.....	48
Tabla 16.	Tipo de embarcación según por los participantes de cada localidad.....	49
Tabla 17.	Tamaño del motor respondida por los participantes de cada localidad.....	50
Tabla 18.	Longitud de la embarcación respondida por los participantes de cada localidad.....	51
Tabla 19.	Velocidad de la embarcación respondida por los participantes de cada localidad.....	52
Tabla 20.	Sitios de presencia del manatí respondida por los participantes de cada localidad.....	53
Tabla 21.	Percepción sobre la importancia del manatí respondida por los participantes de cada localidad.....	54
Tabla 22.	Cantidad de manatíes respondida por los participantes de cada localidad.....	55

Tabla 23. Lugar de registro de colisión por embarcación respondida por los participantes de cada localidad.....	56
Tabla 24. Número de casos de colisión por embarcación respondida por los participantes de cada localidad.....	57
Tabla 25. Percepción sobre la frecuencia de los casos respondida por los participantes de cada localidad.....	58
Tabla 26. Percepción sobre la afectación de los casos en la población del manatí respondida por los participantes de cada localidad.....	59
Tabla 27. Percepción sobre el riesgo de colisión por tráfico de embarcaciones respondida por los participantes de cada localidad.....	60
Tabla 28. Percepción sobre el riesgo de colisión por la velocidad de la embarcación respondida por los participantes de cada localidad.....	61
Tabla 29. Conocimiento legal respondida por los participantes de cada localidad.....	62
Tabla 30. Subcódigos y comentarios personales de las encuestas del análisis en ATLAS.ti.....	63
Tabla 31. Contribución porcentual de las variables ambientales usadas en el modelo Maxent.....	67

1. RESUMEN

La Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (RBSK), es un área clave para la población de manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) (Linnaeus, 1758) del Caribe Mexicano; siendo la pesca y el turismo sus principales actividades socioeconómicas. Esta subespecie de manatí de las indias occidentales se considera en la categoría de peligro de extinción por la UICN y la NOM-059-SEMARNAT-2010, de tal suerte que se encuentra en el listado de Especies Prioritarias para la Conservación en México. El objetivo del presente estudio fue desarrollar una evaluación espacial explícita sobre el riesgo de colisión por embarcaciones para manatíes en la RBSK. La metodología consistió en la colecta directa e indirecta de la actividad marítima en áreas de uso por el manatí, mediante la aplicación de encuestas a pescadores y prestadores de servicio turístico (septiembre a noviembre del 2021); estimación de la idoneidad del hábitat del manatí mediante un modelo de nicho ecológico en MaxEnt; y estimación del riesgo de colisión mediante un modelo de riesgo en InVEST. Se entrevistó un total de 49 personas, de las cuales el 94% considera que los casos de colisión por embarcación hacia el manatí son poco frecuentes. El 76% mencionó que el tráfico de embarcaciones no representa riesgo alguno para el manatí; sin embargo, el 63% reconoce que la velocidad de la embarcación puede ser un factor potencial de riesgo de colisión. El modelo MaxEnt mostró la batimetría como la variable con mayor contribución (85.4%) para la probabilidad de presencia de manatí. A partir del análisis espacialmente explícito, se encontraron patrones de riesgo de colisión; en la Bahía Ascensión se determinó una mayor exposición (intensidad y superposición temporal) por actividad turística y en la Bahía Espíritu Santo una mayor exposición por actividad pesquera. El mapa de riesgo de colisión muestra que es probable que el riesgo cambie espacialmente dentro de cada subregión o bahía. El modelo de evaluación del riesgo del hábitat (Habitat Risk Assessment, HRA), demuestra ser una herramienta útil para investigar la exposición al riesgo de colisión con datos limitados y a grande escala. Se sugiere asignar zonas de manejo especial para la conservación del manatí por los actores sociales en toma de decisiones, a fin de mitigar el potencial de impacto de la actividad humana, promoviendo en conjunto con el desarrollo de actividades sustentables en la Reserva.

Palabras clave: evaluación, modelo, percepción social, riesgo de colisión, tráfico de embarcaciones, *Trichechus manatus manatus*.

2. INTRODUCCIÓN

En México, el manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) es un mamífero acuático herbívoro perteneciente al orden Sirenia y una de las dos subespecies del manatí Americano (*T. manatus*). Se encuentra en la categoría de peligro de extinción por la NOM-059-SEMARNAT-2010 y en el listado de Especies Prioritarias para la Conservación en México (SEMARNAT, 2010). Además, la subespecie es considerada en peligro de extinción (EN) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, UICN (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni, 2008). Su importancia ecológica radica, entre otras, en que funciona como especie indicadora o centinela de la salud de los ecosistemas marinos y figura como especie carismática para la conservación (Bonde *et al.*, 2004; Rodas-Trejo *et al.*, 2008).

A nivel global, los mamíferos marinos se enfrentan a amenazas como enredos en artes de pesca, contaminación por ruido, contaminación del agua, pérdida de hábitat por desarrollo costero, caza, pérdida de fuentes de alimento por la mala gestión de la pesca y los efectos del cambio climático (IUCN, 2008). Dentro de las amenazas para la conservación del manatí antillano (*T. m. manatus*) se encuentran la fragmentación del hábitat, contaminación de cuerpos de agua, enredamientos en artes de pesca, turismo de avistamiento sin regulación y colisión con embarcaciones (SEMARNAT, 2018; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2020).

Con dos casos reportados de colisión letal en la RBSK, la colisión con embarcaciones representa un preocupante problema latente, debido al crecimiento constante de afluencia turística y, por tanto, del tráfico de embarcaciones. La presencia de embarcaciones, velocidad de las embarcaciones y profundidad en la que se encuentren los manatíes aumenta el riesgo de colisión y tiene otros efectos negativos como contaminación acústica, daños en los parches de vegetación subacuáticas y acoso, que podría afectar potencialmente la salud, supervivencia y comportamiento de los manatíes (Rycyk *et al.*, 2018).

El presente estudio tuvo como objetivo la elaboración de un modelo de riesgo de colisión espacialmente explícito para manatíes de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (RBSK), que contemplara el hábitat del manatí en función de las variables ambientales, así como la distribución de embarcaciones que transitan en el área.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Biología del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*)

3.1.1. Filogenia

El manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) pertenece al orden Sirenia de la familia Trichechidae, las especies representantes son *T. manatus* (manatí americano), *T. inunguis* (manatí del Amazonas) y *T. senegalensis* (manatí del África Occidental). El orden Sirenia se encuentra representado por las familias Trichechidae (manatíes) y Dugongidae (dugongos), son totalmente acuáticos, habitan en aguas poco profundas ya que no se sumergen a grandes profundidades como lo hacen muchos cetáceos y pinnípedos, se alimentan principalmente de plantas, su dieta herbívora hace a los sirenios únicos entre los mamíferos marinos (Reynolds *et al.*, 2009).

Los Sirenios tienen un registro fósil que se extiende desde el Eoceno temprano (50 millones de años (ma) hasta el presente. La familia Trichechidae tiene menos registros fósiles que los dugongos, las especies actuales de manatíes se conocen desde el Mioceno temprano (15 ma) (Berta *et al.*, 2015). Los Sirenios evolucionaron a partir de herbívoros terrestres hace unos 60 millones de años y están más estrechamente relacionados con otros Afroterios, que se consideran un clado basal en la filogenia de los Euterios (McAllan y Geiser, 2018), como los cerdos hormigueros, topes dorados, tenrécidos, sengis, elefantes e hiracoideos que con los cetáceos o pinnípedos (Marsh *et al.*, 2012; O'Shea *et al.*, 2018).

La familia Trichechidae (manatíes) aparece por primera vez en el Mioceno representados por *Potamosiren* en depósitos de agua dulce en Colombia. Gran parte de su historia probablemente transcurrió en América del Sur, donde se extendieron a América del Norte y África solo en el Plioceno o Pleistoceno. Durante el Mioceno tardío, los manatíes que habitaban en la cuenca del Amazonas evidentemente se adaptaron a una dieta de pastos de agua dulce gracias a su estructura molar que todavía utilizan sus descendientes modernos (Domning, 2005, 2018).

3.1.2. Morfología

Es un mamífero acuático de cuerpo fusiforme y de coloración gris oscuro (O'Shea, 2014). Presenta dos aletas anteriores en forma de remo con uñas en los extremos, una cola

horizontalmente aplanada y un hocico con dos labios flexibles y carnosos provistos de cerdas llamadas vibrisas (PNUMA, 1995). Sus ojos son pequeños pero capaces de ver bajo la superficie del agua incluso en condiciones de baja luminosidad, no tiene oído externo, aunque si una importante capacidad auditiva (O'Shea, 2014). Las narinas se sitúan en la parte superior del hocico, se abren y cierran por medio de válvulas musculares, éstas se cierran al momento de sumergirse (Reeves *et al.*, 1992). Los manatíes adultos alcanzan una talla promedio de 3 m y llegan a pesar entre 300-500 kg (Morales-López *et al.*, 2012), las crías llegan a medir 124 cm y pesar 32 kg, son muy longevos ya que pueden llegar a vivir hasta 60 años (Marmontel, 1995).

3.1.3. Reproducción

El dimorfismo sexual no es tan marcado, aunque las hembras pueden crecer un tamaño ligeramente mayor que los machos (Mesnick y Ralls, 2018). En el caso de las hembras la abertura genital se encuentra cercana al ano, mientras que en los machos se localiza posteriormente, cerca al ombligo (Fagone *et al.*, 2000). El sistema reproductor de las hembras consta de ovarios que se encuentran en el límite inferior de la cavidad corporal y glándulas mamarias situadas debajo de cada aleta anterior, mientras que en los machos el pene se encuentra protegido dentro de la cavidad abdominal (Marmontel *et al.*, 1992). La edad de madurez sexual ocurre entre los 3-4 años, y su periodo de gestación dura de 11-13 meses (Hartman, 1979).

3.1.4. Dieta

Son animales herbívoros, en el Caribe Mexicano se alimentan de pastos marinos (*Thalassia testudinum*, *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Ruppia maritima*, *Panicum* sp y *Najas* sp), algas (*Chara* sp) y de plantas vasculares (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Pontedeira crassipes*) (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2009; Flores-Cascante *et al.*, 2013), aunque se ha observado que parecen tener preferencia de alimento por los pastos marinos (Garcés-Cuartas, 2020). En cuanto a su fisiología, su sistema digestivo es largo para poder procesar el alimento, la fermentación ocurre en la unión de los intestinos grueso y delgado. Llegan a consumir hasta el 8% de su masa corporal, asimilando el 80% de celulosa. Su metabolismo es muy lento, razón por la cual no es capaz de soportar cambios bruscos en la temperatura del agua (Blair-Irvine, 1983).

3.2. Distribución geográfica

El manatí Americano (*Trichechus manatus*) se distribuye en la región del océano Atlántico, el Caribe y Golfo de México. Se divide en dos subespecies, el manatí de Florida (*T. manatus latirostris*) que se distribuye en la Península de Florida hasta el norte del Golfo de México y el manatí antillano (*T. manatus manatus*) que se distribuye en las costas del Golfo de México hasta la costa noreste de Brasil (Marsh *et al.*, 1986).

En México, el manatí antillano (*T. manatus manatus*) tiene una distribución histórica que abarca desde el Golfo de México y el Caribe Mexicano. Se reporta para los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. La población remanente con distribución más norteña se encuentra en el Sistema Lagunar de Alvarado (SLA), es el último sitio con poblaciones viables en Veracruz y en el norte del golfo de México (Daniel-Rentería *et al.*, 2012). La porción sureste de Tabasco es una región clave para la conservación y manejo del manatí en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla (RBPC) (Puc-Carrasco *et al.*, 2016). En el noreste de Chiapas, se distribuyen exclusivamente en el complejo de humedales dulceacuícolas, una población de manatíes se encuentra en los humedales de Catazajá (aproximadamente de 60,000ha) (Rodas-Trejo *et al.*, 2008). Otra población importante de esta especie se encuentra en los sistemas fluvio-lagunares que conectan con la laguna de Términos, Campeche (Guevara-Porras *et al.*, 2019).

En el estado de Quintana Roo, existen tres zonas importantes para esta especie: Bahía Chetumal, Sian Ka'an y Yum Balam (Morales-Vela y Olivera-Gómez, 1997; Velázquez-Mendoza, 2018). En la Bahía Chetumal se reporta mayor abundancia de manatíes para el Caribe Mexicano (Colmenero-Rolón y Zárate, 1990; Morales-Vela y Olivera-Gómez, 1997; Morales-Vela y Padilla-Saldivar, 2009a) . Además se han avistado en cuerpos de agua como Laguna Guerrero y Río Hondo (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2013a). En el río Hondo se estima una población de 51 manatíes para el cauce muestreado del río de 81 km (Corona-Figueroa, 2019). La Bahía Ascensión es un área importante preferida en su parte más interna por los manatíes, alrededor de la península de Vigía Grande, y al oeste de Gaytanes (Landeró *et al.*, 2014), además esta zona puede ser mezcla para las poblaciones del Golfo de México y la porción sureste de la costa del Caribe (Nourisson *et al.*, 2011), forma parte de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an al igual que la Bahía Espíritu Santo.

3.3. Comportamiento

Los manatíes suelen ser pacíficos y silenciosos, comúnmente no son gregarios, aunque hay ocasiones en que se les puede ver en grupos de 5 a 22 individuos (Reynolds, 1981). Su principal movimiento es el desplazamiento ya sea para buscar alimento, explorar o socializar, se trasladan con ayuda de la cola. En reposo, los manatíes pueden permanecer sumergidos hasta 24 minutos. Se comunican principalmente mediante su sentido táctil y auditivo (O'Shea, 2014). Su comportamiento acústico es relevante para la identificación individual, el apareamiento y el cuidado parental., producen sonidos tonales con la mayor energía en el segundo armónico (generalmente 5 kHz) (Chavarría *et al.*, 2015). En cuanto a su comportamiento reproductivo, forman grupos reproductivos conformados por machos atraídos por la hembra en celo pero sin formar algún vínculo de pareja permanente (Marmontel *et al.*, 1992). No parecen tener alguna organización social fuerte que no sea el vínculo entre madre y cría (O'Shea, 2014).

3.4. Uso de hábitat

El hábitat que ocupan los manatíes se asocia a variables ambientales como temperatura, salinidad, vegetación acuática, fuentes de agua dulce, profundidad y corrientes. Las especies actuales de Sirenios están restringidas a aguas tropicales y subtropicales. El manatí de las Américas (*T. manatus*) y el manatí africano (*T. senegalensis*) habitan en aguas marinas y dulceacuícolas, el manatí del Amazonas (*T. inunguis*) exclusivamente en agua dulce (Heyning, 2001).

El manatí antillano (*T. manatus manatus*) habita en cuerpos de agua cerca de la costa como bahías, ríos, lagunas, cenotes y estuarios (Morales-Vela y Padilla-Saldívar, 2001). Las zonas como canales y lagunas les brindan refugio y protección contra el viento y el oleaje, ya que los cambios drásticos en la intensidad del viento pueden influir en la distribución espacial. La temperatura del agua, aunque es crucial para los manatíes de la Florida (Edwards, 2013), se reporta como baja influencia sobre la presencia del manatí Antillano, sin embargo, afecta considerablemente los resultados de los bloques de factores abióticos, alimento disponible y agrupamiento (Axis-Arroyo *et al.*, 1998). La salinidad no influye en la presencia del manatí pero se considera como un indicador importante de la proximidad de fuentes de agua dulce (Landeró *et al.*, 2014). Los manatíes requieren ingerir agua dulce, por lo que la presencia de la misma se considera como factor limitante e

importante que indica su presencia (Mignucci-Giannoni *et al.*, 2018). Usan frecuentemente profundidades de 1-4 m, su presencia aumenta mientras menor es la profundidad y disminuye a mayor profundidad (Mignucci-Giannoni *et al.*, 2018; Morales-Vela y Padilla-Saldivar, 2009a).

3.5. Estado de Conservación

El manatí antillano (*T. manatus manatus*) es considerado en peligro de extinción (EN) por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, UICN (Self-Sullivan y Mignucci-Giannoni, 2008), en México se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en la categoría de peligro de extinción y en el listado de Especies Prioritarias para la Conservación en México (SEMARNAT, 2010). También, figura en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES, 2015) (SEMARNAT, 2018).

A nivel nacional, se encuentra integrado en los programas de conservación como el Programa de Acción para la Conservación de la Especie (PACE), que abarca un diagnóstico nacional sobre el estatus de la especie en México y orienta la toma de decisiones sobre las actividades de investigación, manejo y conservación, involucrando a todos los sectores de la sociedad para controlar o minimizar las amenazas de la especie y el Programa de Conservación de Especies en Riesgo (PROCER), el cual reconoce que la continuidad de estas especies depende en gran medida de la existencia de Áreas Naturales Protegidas (ANP) (SEMARNAT, 2018).

3.6. Amenazas

Dentro de las amenazas para su conservación está la fragmentación del hábitat, contaminación de cuerpos de agua, enredamientos en artes de pesca, turismo de avistamiento sin regulación y colisión con embarcaciones (SEMARNAT, 2018; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2020).

El crecimiento urbano y las zonas de turismo han afectado directamente los desplazamientos y el uso de hábitat de la especie en la costa del Golfo de México y la Península de Yucatán, pues es vital que se comuniquen ambas poblaciones para mantener el flujo genético (Nourisson *et al.*, 2011). La pérdida de humedales por actividades ganaderas y agrícolas se ha observado en el Sistema Lagunar de Alvarado, ya que la

deforestación ha afectado el 57% de la superficie del humedal, con una reducción del hábitat del manatí formado por bosques de manglar (Ortega-Argueta, 2002).

Las descargas residuales urbanas, lixiviados industriales y plaguicidas organoclorados han sido también amenazas reportadas para los manatíes en Veracruz (Suárez-Achaval, 2010), Tabasco (SEMARNAT, 2018), Campeche y Quintana Roo (Flores Sánchez *et al.*, 2018). Estas fuentes de contaminación pueden provocar infecciones y enfermedades a los manatíes, que a largo plazo afectan su supervivencia.

La captura incidental está relacionada con la explotación de los recursos pesqueros y las prácticas de pesca ilegal. Esto se ha observado en la Laguna de Alvarado, Laguna de Catazajá (Romero-Berny *et al.*, 2014) y algunas lagunas de Tabasco. Se ha reportado también algunos rescates de enmalles y muertes por redes de pesca en México (Colmenero-Rolón, 1991; Morales-Vela *et al.*, 2002; Romero-Berny *et al.*, 2014).

Las muertes ocasionadas por colisión con embarcaciones se reportan para Florida (Bonde *et al.*, 2004), Puerto Rico (Mignucci-Giannoni *et al.*, 2000) y Belice (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2018). En México, se han reportado estos incidentes en estados como Quintana Roo (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2020), Campeche (Pérez-Morales *et al.*, 2020), Tabasco y Chiapas (Rodas-Trejo *et al.*, 2008; Romero-Berny *et al.*, 2014) representando una creciente amenaza para el Golfo y Caribe Mexicano.

3.6.1. Tráfico de embarcaciones

Los mamíferos marinos que habitan o se acercan a aguas costeras, como ballenas, delfines y sirenios, se encuentran mayormente expuestos a disturbios antropogénicos. El tráfico de embarcaciones ha traído consecuencias importantes en la biodiversidad marina como lo es el riesgo de colisión. Por lo que, el tráfico de barcos pesqueros y recreacionales representan una de las principales amenazas a su salud (La Manna *et al.*, 2010).

El tráfico marítimo puede ocasionar cambios en los comportamientos de los mamíferos marinos, como timidez y la tendencia a evitar las embarcaciones (Richardson *et al.*, 1995), desplazamiento de la zona afectada y pérdida auditiva por exposición continua al ruido de los barcos. Estos cambios en los patrones de comportamiento tienen, al parecer, efectos prolongados y directos sobre la salud de las especies, ya que influyen en su reproducción, crianza, búsqueda de alimento y descanso (La Manna *et al.*, 2010).

Estos efectos se han observado en manatíes de Florida donde responden a los barcos cambiando su orientación y la profundidad en que se encuentran (Rycyk *et al.*, 2018). También se ha observado algunos efectos por el ruido de las embarcaciones que influyen en el comportamiento del uso de hábitat, seleccionando áreas de alimentación con menor ruido ambiental para frecuencias por debajo de 1 kHz (Miksis-Olds *et al.*, 2007). De acuerdo a los niveles de ruido ambiental los manatíes modifican sus vocalizaciones en función del ruido en contextos de comportamiento específicos (Miksis-Olds y Tyack, 2009). Otro efecto importante son las heridas subletales producto de esta interacción pues en Florida se ha observado a partir de una muestra que el 96% de los adultos, el 70% de los subadultos y aproximadamente el 34% de las crías tenían cicatrices ocasionadas por embarcaciones (Bassett *et al.*, 2020).

3.7. Modelos de distribución de especies

Los modelos de distribución de especies se basan en procedimientos estadísticos y cartográficos que partiendo de datos reales de presencia permiten inferir zonas potencialmente idóneas en función de sus características ambientales (Mateo *et al.*, 2011). Esta idoneidad representa la relación matemática o estadística entre la distribución real conocida y un conjunto de variables independientes que se usan como indicadores. Dichas variables pueden ser geológicas, topográficas o climáticas, y en combinación o individualmente pueden definir los factores ambientales que delimitan las condiciones favorables para la presencia de la especie (Guisan y Zimmermann, 2000).

Los modelos se construyen a partir de la variable dependiente (variable respuesta) que es dicotómica (presencia-ausencia) y las independientes (indicadores medioambientales) que pueden ser cuantitativas (temperatura o elevación) o nominales (litología o uso del suelo). Los métodos implicados son clasificadores que generan un valor numérico para cada punto del terreno, dicho valor refleja directa o indirectamente, la idoneidad de presencia de la especie en función de los valores locales de las variables independientes (Mateo *et al.*, 2011).

Existen diferentes denominaciones para estos modelos dependiendo su interpretación, algunos de ellos son: modelos de nicho, modelos de idoneidad o modelos predictivos del hábitat (Mateo *et al.*, 2011). Según la técnica, los métodos de modelización se clasifican en tres grupos (Mateo *et al.*, 2011): técnicas discriminantes, técnicas descriptivas y técnicas mixtas. En la primera, se necesitan datos de presencia y ausencia

para construir la clasificación. Y se subdividen en: árboles de clasificación, técnicas de ordenación, redes neuronales, regresión adaptativa multivariante, modelos lineales generalizados, modelos aditivos generalizados, regresión por cuantiles, estadística bayesiana y máxima entropía (Li y Wang, 2013; Mateo *et al.*, 2011).

Algunas de las aplicaciones que se han llevado a cabo con estos modelos de distribución son: riqueza de especies, distribución, distribución potencial de comunidades, hábitats amenazados, patrones de diversidad, conservación de especies raras, puntos calientes de biodiversidad y efectos de las actividades antropogénicas en la distribución de especies (Mateo *et al.*, 2011).

3.8. Evaluaciones de riesgo

En la planificación espacial marina son primordiales las evaluaciones de riesgo ambiental (ERAs) ya que contemplan información espacialmente explícita de la vulnerabilidad de los componentes del ecosistema relacionadas con la presencia y magnitud de las presiones. Existen dos enfoques en las ERAs que logran ser cuantitativas y cualitativas; el primero predice la respuesta del componente del ecosistema a las presiones cambiantes mediante modelos matemáticos. El segundo enfoque, utiliza atributos del ecosistema combinados con receptores ecológicos y estresores (Stelzenmüller *et al.*, 2015).

De acuerdo con el marco de evaluación de riesgos descrito por Cormier *et al.* (2013) este consta de tres pasos: la identificación del riesgo, análisis del riesgo y la evaluación del riesgo (Fig. 1).

Identificación del riesgo: en esta etapa se identifican cuáles son las presiones, factores de estrés o estresores, la vulnerabilidad ambiental del ecosistema, los componentes significativos del ecosistema y su cuantificación espacial, así como una estimación de la probabilidad y magnitud de la presión (Stelzenmüller *et al.*, 2015). La vulnerabilidad ambiental del ecosistema se identifica como la intensidad y extensión espacio-temporal de los impulsores “drivers” en la zona de influencia. A partir del conocimiento recopilado, estas vulnerabilidades se validan con las percepciones de riesgo de las partes interesadas y del público. La identificación de riesgos brinda un perfil de vulnerabilidad ambiental para anticipar las actividades del análisis de riesgos (Cormier *et al.*, 2013).

Análisis del riesgo: en esta etapa se contempla la probabilidad y magnitud de la presión, los impactos y vulnerabilidad de los componentes del ecosistema y el grado de incertidumbre (Stelzenmüller *et al.*, 2015). La exposición, sensibilidad y recuperación a la presión de un componente del ecosistema permiten comprender su vulnerabilidad. La sensibilidad y recuperación del componente del ecosistema a cualquier presión tiene que ver con su propiedad estructural y relaciones tróficas, recuperación de la población, resiliencia y adaptación. Por último, el análisis de riesgo ofrece un perfil de riesgo ambiental para la posterior evaluación de riesgo (Cormier *et al.*, 2013).

Evaluación del riesgo: en esta etapa se evalúan los impactos probables en los componentes del ecosistema y las medidas de manejo propuestas (Stelzenmüller *et al.*, 2015). En la evaluación de riesgos, la autoridad competente toma la decisión de gestionar acciones mediante el perfil de riesgo ambiental que informa de las causas y consecuencias de los riesgos de efectos ambientales. Las medidas de control tomadas a partir de la evaluación de riesgos pueden ser dependiendo de que no se ocupen medidas, las medidas sean apropiadas o se necesiten nuevas medidas. Cuando existen las medidas apropiadas, el tratamiento de riesgo no es necesario y se sugiere continuar con la fase de revisión y seguimiento de las medidas de control y mitigación existentes. Por lo contrario, cuando se necesitan nuevas medidas, la fase del tratamiento de riesgo es necesario y con ello se busca implementar nuevas medidas para gestionar el riesgo. En conclusión, la evaluación de riesgo revela si las medidas de gestión son necesarias o no (Cormier *et al.*, 2013).



Fig. 1. Proceso de la gestión de riesgos en un contexto de gestión espacial basado en ecosistemas (Tomado y adaptado de Stelzenmüller *et al* (2015).

3.9. Riesgo de colisión

Según la Comisión Ballenera Internacional (2011), define el riesgo de colisión como la probabilidad de ocurrencia de una colisión entre el animal y la embarcación o buque, y la probabilidad de que ésta produzca lesiones graves, muerte al animal, o incluso daños a la embarcación.

Dentro de la terminología sobre este tema existe el término de golpe y encuentro; el primero se refiere a la colisión física entre el animal y la embarcación, mientras que el segundo es el suceso donde la embarcación y animal están muy cerca dentro de una zona de riesgo de colisión. Este “encuentro” o interacción puede no resultar precisamente en un golpe, ya sea por el animal pasando a 100m de un buque (Barkaszi *et al.*, 2021). En este sentido Martin *et al* (2016) reitera que los encuentros no deben confundirse con los casos de colisión.

3.9.1. Factores de riesgo

Existen algunos factores de riesgo relacionados principalmente al comportamiento del manatí, las características propias de la embarcación y características del hábitat. Entre los factores considerados por algunos estudios se encuentran el tamaño del manatí, velocidad y tamaño de la embarcación, profundidad y buceo o inmersión del manatí (Nowacek *et al.*, 2002; Nowacek *et al.*, 2004; Calleson y Frohlich, 2007; Miksis-Olds *et al.*, 2007; Rycyk, 2013; Martin *et al.*, 2016; Edwards *et al.*, 2016; Rycyk *et al.*, 2018; Combs, 2018; Cloyed *et al.*, 2019; Bassett *et al.*, 2020).

3.9.1.1. Tamaño del manatí

El riesgo de colisión puede verse influenciado por el tamaño del animal dentro de una zona de riesgo (Barkaszi *et al.*, 2021). Pese a que existen pocos estudios que aborden el tamaño del manatí como factor de riesgo; la relación que se conoce entre el tamaño del manatí y la colisión con embarcaciones tiene que ver con los patrones en heridas subletales dependiendo de la etapa de vida del individuo. En el manatí de Florida (*Trichechus manatus latirostris*) se ha observado que existe una relación de que 1 de cada 4 adultos ha sido golpeado por una embarcación 10 o más veces debido a que los adultos van acumulando más heridas debido al tamaño o longitud (Bassett *et al.*, 2020).

3.9.1.2. Velocidad de la embarcación

Se ha encontrado una relación positiva entre la velocidad de la embarcación y la tasa de encuentros. Martin *et al* (2016) definen la tasa de encuentro como el potencial de colisión en el espacio y tiempo por la velocidad del animal y la embarcación. A mayor velocidad de la embarcación y distancia transitada, mayor será el número de encuentros. En efecto, una disminución en la velocidad de 39.82 km/h a 7.96 km/h puede reducir hasta un 80% el número de encuentros (Martin *et al.*, 2016). La estimación de la tasa de encuentros puede obtenerse por escenario de *tiempo y distancia fijos*; en el primer escenario se considera el tiempo fijo de la embarcación en una zona, viajando sin un destino específico, en el segundo escenario se considera el destino específico de la embarcación, y su distancia independiente de la velocidad. Para calcular esta tasa de encuentro se puede utilizar un rango de velocidad de 1.85 km/h a 61.12 km/h (Martin *et al.*, 2016).

También se ha observado una relación positiva entre la velocidad de la embarcación y la probabilidad de una herida letal. La probabilidad de una herida letal hacia el manatí puede ocurrir entre una velocidad de 18.52 km/h y 37.04 km/h, por lo que si la velocidad aumenta la probabilidad de una herida letal aumentará (Combs, 2018).

La disminución en la velocidad de la embarcación puede reducir el riesgo de colisión hacia el manatí, pues permite mayor tiempo de reacción del navegante de evitar una colisión, mayor tiempo de reacción para el manatí de evitar un encuentro con la embarcación y menor tasa de heridas letales ocasionadas por golpe con la embarcación (Calleson y Frohlich, 2007). De hecho, las restricciones a la velocidad de embarcaciones han tenido una respuesta evidente en la reducción de muertes del manatí de Florida (*T. m. latirostris*) (Laist y Shaw, 2006). Además, se ha observado que las embarcaciones que viajan a baja velocidad ocasionan cambios en el comportamiento del manatí con anticipación o le dan más tiempo al manatí para responder (Rycyk, 2013; Rycyk *et al.*, 2018).

3.9.1.3. Comportamiento de buceo del manatí (Diving Behaviour)

En el ámbito hogareño del manatí, este logra realizar movimientos verticales ya sea por actividades como descanso, viaje, apareamiento, alumbramiento, alimentación y termorregulación (Edwards *et al.*, 2016). A pesar de mostrar movimientos muy lentos, su capacidad de movimiento autónomo puede lograr a alcanzar una velocidad de hasta 12.2

nudos (22.5 km/h) (Hartman, 1979). Y, pueden lograr sumergirse durante 20 minutos cuando realizan su actividad de descanso o nado (Reynolds *et al.*, 2018).

El comportamiento de buceo del manatí se puede ver afectado por la presencia de embarcaciones. En el manatí antillano (*T. manatus*) se ha observado que cambian su profundidad, orientación y velocidad de nado por el acercamiento de embarcaciones a menos de 10m (Miksis-Olds *et al.*, 2007; Rycyk *et al.*, 2018) hasta 800m (Nowacek *et al.*, 2002) y en el manatí de Florida (*T. m. latirostris*) entre 25 a 50 m (Nowacek *et al.*, 2004; Rycyk, 2013).

En la RBSK, observaciones mediante dron han captado en el manatí antillano (*T. m. manatus*) cambios en el desplazamiento y respiraciones contiguas de menos de un minuto (Landeo-Yauri, 2019).

3.9.1.4. Profundidad

El manatí pasa la mayor parte del tiempo en zonas someras con profundidades de uno a dos metros (Ripple, 1999). Las características del hábitat como cobertura de pasto marino, profundidad del agua, distancia a canales de navegación y proximidad de ojos de agua dulce, intervienen en el comportamiento del manatí y en la probabilidad de encuentro con embarcaciones.

La profundidad puede influir en el riesgo de colisión pues en áreas donde exista mayor profundidad permite al manatí evitar una colisión, es decir, la variación de la batimetría permitiría al manatí sumergirse más profundo. En el caso del manatí de Florida (*T. m. latirostris*), los manatíes pasan gran parte del tiempo cerca de la superficie (<0.91 m), implicando mayor riesgo de ser golpeados por embarcaciones. Sin embargo, esta probabilidad disminuye con el aumento de la profundidad (Edwards *et al.*, 2016).

También se ha observado que ante la presencia de pastos marinos este riesgo tenía un efecto similar ya que su presencia está condicionada a áreas poco profundas. Los canales y vías fluviales usados por los manatíes les permiten estar a mayor profundidad y distancia (≤ 50 m), disminuyendo el riesgo de colisión con embarcaciones (Edwards *et al.*, 2016). Por el contrario, en los canales usados por el manatí antillano (*T. manatus*) como corredores migratorios, se puede acrecentar el riesgo de colisión al estar expuestos a otros tipos de embarcaciones (Cloyed *et al.*, 2019).

3.10. Marco conceptual del modelo InVEST

El modelo InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) creado por *Natural Capital Project* (NatCap) en la Universidad de Stanford, se basa en la valoración de los servicios ecosistémicos y permite mapear, examinar, cuantificar los cambios y beneficios de los ecosistemas terrestres y marinos. Ante el cambio acelerado en los ecosistemas, este proyecto busca priorizar el capital natural para una mejora en el desarrollo humano y compensar entre los usos, sectores y servicios (Sharp *et al.*, 2019).

El uso de este modelo está dirigido a gobiernos, instituciones, organizaciones no gubernamentales, y corporaciones que estén implicados en la toma de decisiones. Por lo que, tiene la finalidad de informar sobre las decisiones en el manejo de los recursos naturales. También, el de contemplar diversos escenarios actuales o futuros hasta lograr establecer las soluciones apropiadas para tomar acción (Sharp *et al.*, 2019).

Este modelo es un software de libre acceso (<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>) y utiliza softwares de apoyo SIG como QGIS o ArcGIS. El análisis espacial puede ser a escala local, regional o global lo que permite una resolución espacial flexible. Además, cuenta con 18 diversos modelos espacialmente explícitos como: Carbono, Polinización de cultivos, Producción de cultivos, Calidad del hábitat, Evaluación de riesgos del hábitat, Recreación y turismo, Calidad escénica, Rendimiento de agua estacional, Retención de sedimentos, Carbono azul costero, Vulnerabilidad costera, Energía eólica marina, Producción de energía hidroeléctrica de embalse, Producción de energía de las olas, entre otros.

3.10.1. Modelo de Evaluación de riesgo del hábitat (Habitat Risk Assessment HRA)

Este modelo se fundamenta en evaluar el riesgo y consecuencias de las actividades humanas en los hábitats y las especies, puesto que los servicios ecosistémicos se encuentran cada vez más amenazados. El modelo HRA es de enfoque cuantitativo pues calcula el riesgo en los componentes del ecosistema mediante dos variables: exposición y consecuencia (Fig. 2). La exposición se concibe como el nivel de un factor estresante que percibe un hábitat o especie y la respuesta del hábitat o especie ante este estresor se define como consecuencia (sensibilidad). Esta última contempla la resiliencia o la capacidad de recuperación del hábitat o especie ante un estresor según sea el caso.

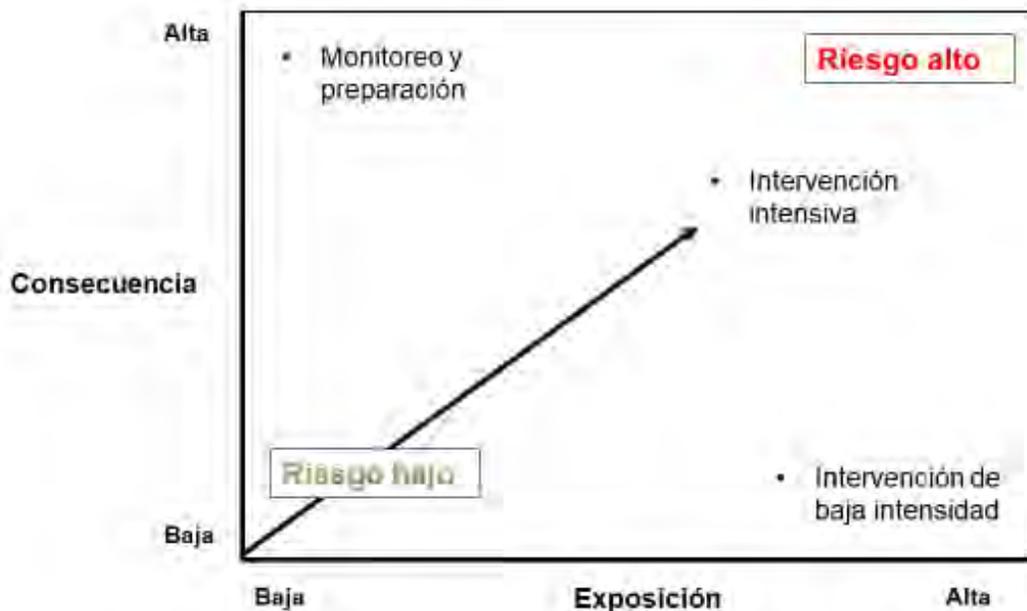


Fig. 2. Exposición y consecuencia para evaluar el riesgo del hábitat o especie e identificar estrategias de gestión (Tomado y adaptado de Dawson *et al* (2011)).

El modelo es espacialmente explícito por lo que puede utilizar datos geoespaciales (base de datos o repositorios espaciales) y no espaciales (literatura revisada por pares y opinión de expertos). Los datos de entrada del modelo tendrán una resolución espacial preferida por el usuario para luego ser rasterizados en el área de estudio a dicha escala o superficie ráster donde se lleva a cabo el cálculo del riesgo. Estos datos espaciales tienen que proveer información de: la distribución espacial del hábitat o especie, distribución espacial de la actividad humana (factor de estrés), ponderación de la interacción hábitat o especie-factor estresante. El modelo utiliza criterios de exposición y consecuencia para ponderar las interacciones entre cada hábitat o especie y estresor con puntuaciones que van de 1 a 3 o 0 (sin puntuación). El usuario puede precisar los criterios o utilizar los propuestos por el modelo.

Dentro de los criterios de exposición se incluye la superposición espacial y temporal del hábitat o especie y el factor de estrés, intensidad del estresor y la eficacia de la estrategia de gestión. En los criterios de consecuencia se puede incorporar el grado de

MARCO TEÓRICO

pérdida del hábitat, cambio de estructura del hábitat, frecuencia de perturbaciones naturales, mortalidad, tasa de reclutamiento, tiempo de recuperación y conectividad.

Existen dos maneras de calcular el riesgo utilizados por el modelo: por distancia euclidiana y por riesgo multiplicativo. En la primera, el riesgo se calcula mediante la distancia euclidiana desde el origen al puntaje promedio de la exposición (E) y consecuencia (C) (Fig. 3).

$$R_{ij} = \sqrt{(E - 1)^2 + (C - 1)^2}$$

i = criterio para exposición y consecuencia

j = hábitat

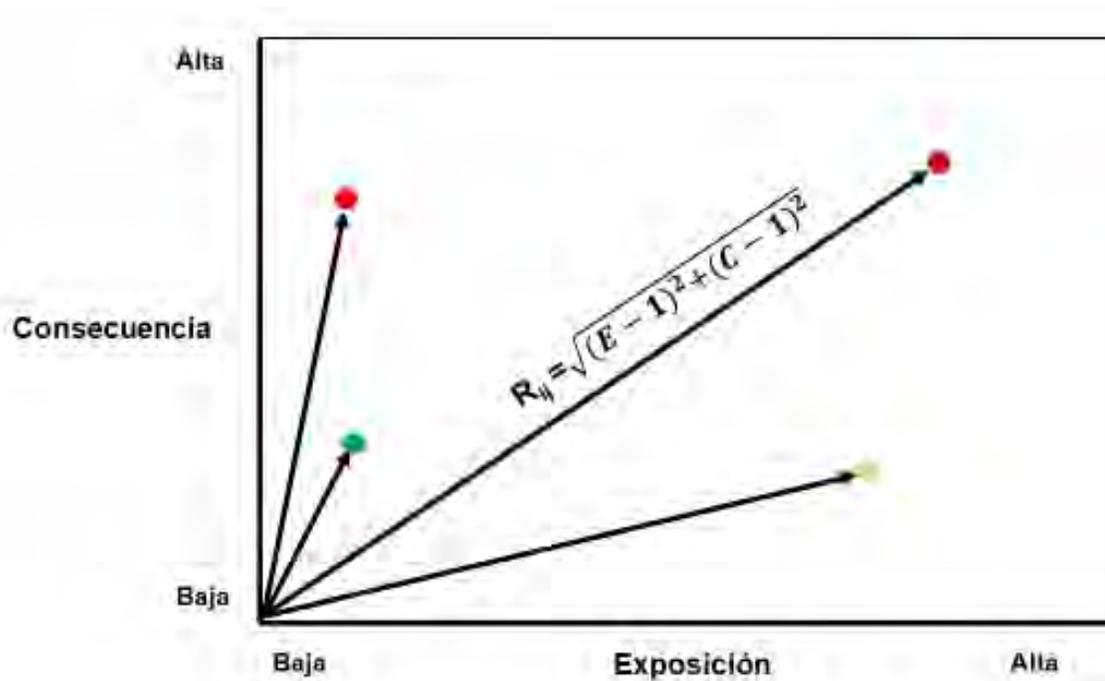


Fig. 3. Cálculo de riesgo euclidiano por el modelo Habitat Risk Assessment (HRA).

Este puntaje de riesgo se mapea y visualiza por el modelo HRA, cuando el hábitat o especie y el factor estresante se superponen. No obstante, el modelo adjudica que el riesgo (R_{ij})=0 para cada celda, cuando $E=0$ y $C=0$, es decir, el hábitat o especie y el estresor no se superponen (Verutes *et al.*, 2020).

MARCO TEÓRICO

Una de las ventajas del modelo es que es flexible a la gran cantidad o escasez de datos, además permite la incorporación de datos espacialmente explícitos como criterios o datos de entrada y siempre que se obtenga nueva información de datos, el modelo se puede actualizar. Asimismo, permite caracterizar la calidad e importancia de los datos de entrada o criterios, considerando el grado de incertidumbre en los sistemas ecológicos a evaluar.

Dentro de las limitaciones del modelo se encuentra que los resultados estarán afectados por; la calidad de los datos de entrada esto supone la disponibilidad de información con la que se trabaja, la interpretación de los resultados limitados a la escala espacial, no se reflejan las actividades o exposiciones pasadas en los hábitats o especies, el puntaje de los criterios para establecer el riesgo general y solo se evalúa el riesgo directo más no indirecto en el hábitat o especie.

Los supuestos que considera este modelo son que los factores de estrés tienen un efecto análogo en cualquier ecosistema terrestre o marino a nivel mundial. Por último, que el riesgo se considera aditivo, por lo que esto alcanza a no considerar la sinergia o antagonismo de las interacciones entre los múltiples factores de estrés.

Finalmente, los resultados del modelo HRA o datos de salida consisten en seis archivos y una carpeta para visualización web de los resultados en <http://marineapps.naturalcapitalproject.org/>. Los archivos son en formato ráster (.tif), la primera capa ráster (Riesgo total por hábitat) muestra el riesgo acumulativo del hábitat o especie para todos los estresores, la segunda capa (Riesgo total del ecosistema) muestra el riesgo promedio para todos los hábitats o especie, la tercera capa (Riesgo reclasificado por hábitat) muestra el riesgo como 0=sin riesgo, 1=riesgo bajo, 2=riesgo medio y 3=riesgo alto del hábitat para todos los estresores, la cuarta capa (Riesgo reclasificado del ecosistema) muestra el riesgo reclasificado de igual manera (0-3) para todos los hábitats o especie.

También, se obtiene un resumen estadístico como archivo Excel en formato csv donde se muestra el puntaje de riesgo mínimo, máximo y promedio para cada interacción entre hábitat o especie y el estresor. El modelo genera adicionalmente un archivo de texto como registro de la configuración usada para cada escenario de simulación.

4. ANTECEDENTES

Las muertes de manatíes por colisión de embarcaciones se han reportado en diferentes lugares de su distribución mediante reportes o eventos históricos y necropsias en algunas ocasiones. Ante esta problemática, empieza a tomar relevancia estudios para evaluar el riesgo del tráfico de embarcaciones en diferentes regiones con importante afluencia turística y actividad pesquera y su influencia en la distribución de mamíferos marinos como delfines, ballenas y sirenios.

En México se tienen reportes de estos casos en lugares como Chiapas y Quintana Roo (Rodas-Trejo *et al.*, 2008; Morales-Vela y Padilla-Saldivar, 2009a; Romero-Berny *et al.*, 2014; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2018; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2020).

En 2020 la red de varamientos de mamíferos marinos del Estado de Quintana Roo llevó a cabo una necropsia de un manatí juvenil hembra de la RBSK, y concluyó que la causa de muerte fue por colisión de una lancha a alta velocidad (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2020). Aunque este es el primer caso documentado en muchos años, ya se habían recibido varios informes no confirmados de manatíes aparentemente muertos por colisión de embarcaciones en la RBSK.

En 2022 un guardaparque de la RBSK notifica la muerte de dos individuos (hembra y cría) por una colisión de embarcación (N. Castelblanco, comunicación personal). Según estos casos, y la información obtenida a través de entrevistas, se especula que los encuentros letales y subletales con las embarcaciones son cada vez más comunes de lo que se informó oficialmente, y que es probable que las colisiones con embarcaciones sean la principal amenaza para los manatíes en Sian Ka'an.

En Belice, la colisión con embarcaciones representa la principal amenaza de mortalidad para manatíes (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2018; Galves *et al.*, 2022). Asimismo, se ha observado en Puerto Rico mortalidad de manatíes atribuido a colisión con embarcaciones (Mignucci-Giannoni *et al.*, 2000).

Ciertos estudios se han realizado a través de diferentes enfoques para comprender el riesgo de colisión en el manatí de Florida (*T. m. latirostris*). Bauduin *et al* (2013) construyen un índice de riesgo de co-ocurrencia a través de modelos de ocupación y densidad de embarcaciones para identificar las áreas de mayor probabilidad de encuentro.

ANTECEDENTES

Por otro lado, Martin *et al* (2016) en su marco cuantitativo para el riesgo de colisiones mortales, detalla que los encuentros con embarcaciones pueden aumentar respecto a la velocidad de la embarcación.

Udell *et al* (2018) especifican que este riesgo de mortalidad puede ser explicado a través de un modelo de abundancia temporal de manatíes y embarcaciones utilizando datos aéreos para un análisis bayesiano y con diferentes escenarios propuestos de velocidad; pues se observa una reducción del riesgo de colisión letal en áreas de regulación o gestión. Considerando que la velocidad de la embarcación es un factor importante de riesgo, Combs (2018) mediante un modelo de regresión logística estima la probabilidad de que ocurra una herida letal en función de la velocidad de la embarcación, en el cual se observa una mayor probabilidad entre los 10 y 20 nudos (18.52 km/h - 37.04 km/h).

También se han abordado estudios sobre el riesgo de colisión en cetáceos mediante modelos de distribución. Williams y O'Hara (2010), realizan una evaluación de riesgo de colisión mediante el patrón de distribución y las áreas de tráfico marítimo para *Megaptera novaeangliae*, *Balaenoptera physalus* y *Orcinus orca*, identificando un patrón de riesgo de colisión en canales estrechos donde existe mayor concentración de las especies y buques. Al igual que Redfern *et al* (2013) evalúan el riesgo de colisión para ballenas como *M. novaeangliae*, *B. musculus* y *B. physalus*, identificando el patrón de distribución de las especies y las rutas de navegación.

Pennino *et al* (2017) también evalúan el riesgo de colisión para *Stenella coeruleoalba*, *Tursiops truncatus* y *B. physalus*, modelando la distribución del tráfico marítimo y las especies, observando un traslape en la idoneidad del hábitat de las especies. Por otra parte, Smith *et al* (2020) identifican áreas de mayor riesgo de colisión de buques comerciales para *M. novaeangliae*, estas áreas de mayor riesgo coincidieron con las zonas predichas de mayor densidad de ballenas donde también se observó un cambio espacial del riesgo de colisión en la costa debido al cambio en la distribución espacial de *M. novaeangliae*.

Estudios realizados mediante el modelo Evaluación de riesgo del hábitat (Habitat Risk Assessment HRA) han servido como enfoque para evaluar el riesgo de captura incidental en mamíferos marinos con el fin de apoyar la gestión y mitigación del riesgo. Principalmente para el Dugón (*Dugong dugon*), sirenio también de hábito costero y con preferencia por aguas marinas. Briscoe *et al* (2014) evalúan el riesgo espacial en función

ANTECEDENTES

de la idoneidad del hábitat del dugongo (*Dugong dugon*) y la actividad pesquera para cada tipo de arte de pesca, identificando así áreas de alto riesgo de captura incidental particularmente a lo largo de la costa en zonas con alta actividad pesquera coincidiendo con la idoneidad del hábitat del dugongo predicha por Maxent.

Hashim *et al* (2017) mediante entrevistas con pescadores, modelo de idoneidad del hábitat y modelado de riesgo, categorizan la presión por tipo de arte de pesca en el hábitat del dugongo (*Dugong dugon*), identificando áreas de alto riesgo de captura incidental en la costa. Hines *et al* (2020) y Verutes *et al* (2020) evalúan el riesgo de captura incidental en *Orcaella brevirostris* y *Dugong dugon* a partir de la idoneidad del hábitat y la actividad pesquera, observándose un cambio espacial y temporal en el riesgo de captura incidental, además de identificar un patrón de riesgo en áreas de pasto marino y áreas poco profundas (áreas idóneas para el dugongo).

5. JUSTIFICACIÓN

En la RBSK la pesca y el turismo, constituyen las principales actividades socioeconómicas (Brenner y Vargas del Río, 2010). De acuerdo con el Programa de Manejo del Complejo Sian Ka'an, instrumento rector de planeación y regulación, la subzona de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales marinos está conformada por diez polígonos con un área total de 123,143.1804 hectáreas. En esta subzona se encuentran los polígonos de la Bahía Ascensión y Espíritu Santo, donde se permiten actividades de educación ambiental, investigación científica, pesca, tránsito de embarcaciones mayores y turismo de bajo impacto ambiental (CONANP, 2014). La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) considera que todas las actividades productivas se realicen bajo esquemas de aprovechamiento sustentable.

La RBSK está experimentando un crecimiento constante de afluencia turística, y, en consecuencia, un aumento evidente del tráfico de embarcaciones. Información obtenida de datos colectados a través de proyectos de monitoreo de manatíes en la RBSK afirman que algunas áreas relevantes para la alimentación, crianza y refugio del manatí también son corredores importantes para las embarcaciones. Por lo tanto, cabe inferir que a medida que aumenta el tráfico de embarcaciones, la probabilidad de interacciones entre manatíes y embarcaciones es más alta. Se espera que el riesgo de colisión con embarcaciones sea variable espacialmente, siendo más alto en áreas donde embarcaciones y manatíes se encuentran en mayor densidad, así como en aguas poco profundas que afectan la capacidad de los manatíes de evitar el impacto (Maitland *et al.*, 2006).

Además, el tráfico de embarcaciones puede añadir otros efectos negativos como contaminación acústica, daños en los parches de vegetación subacuáticas y acoso, que podría afectar potencialmente la salud, la supervivencia y el comportamiento de los manatíes (Rycyk *et al.*, 2018).

Aunque la amenaza parece ser evidente, no se han realizado estudios en la RBSK para evaluar el riesgo de colisión de manatíes con embarcaciones, por lo tanto, es importante evaluar la variación del riesgo de encuentro barco-manatí a través de tres elementos principales: 1) distribución y uso del hábitat de manatíes, 2) características

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

físicas de la zona, específicamente batimetría, y 3) frecuencia, nivel e intensidad del tráfico de barcos.

6. HIPÓTESIS

1. Las áreas preferidas por manatíes serán aquellas con una profundidad 1-4m, cercanas a la costa, con disponibilidad de agua dulce y vegetación acuática.
2. La mayor actividad de embarcaciones se encontrará próximo a los centros urbanos y el tráfico probablemente varíe conforme a la temporada turística y pesquera.
3. El riesgo de colisión será mayor en áreas someras de alto uso por parte de los manatíes y con gran tráfico de embarcaciones, y se presentará tanto en la temporada turística como pesquera.

7. OBJETIVOS

7.1. Objetivo general

Desarrollar un modelo de riesgo de colisión espacialmente explícito para manatíes de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (RBSK).

7.2. Objetivos particulares

1. Determinar las áreas críticas para manatíes en la RBSK de acuerdo con el uso de hábitat.
2. Determinar las áreas de tráfico marítimo en la RBSK.
3. Generar una superficie de riesgo espacialmente explícita que capture la distribución de manatíes y el tráfico de embarcaciones en la RBSK.

8. ÁREA DE ESTUDIO

La RBSK es una ANP de la región del Caribe Mexicano, decretada en 1986 y en 1987 enlistada como Patrimonio Mundial por la UNESCO (CONANP, 2014). Se ubica en el estado de Quintana Roo entre los municipios de Felipe Carrillo Puerto y Tulum, abarca un área de 6,510 km² siendo una de las mayores áreas naturales protegidas (Mazzotti *et al.*, 2005). Posee dos bahías: la Bahía Ascensión ubicada en la costa central de Quintana Roo que delimita al norte con Punta Allen y al sur con Punta Hualastok con un área de 740 km² y una amplia desembocadura de 12.5km con una profundidad media de 4m y la Bahía Espíritu Santo ubicada en la costa oriental del mismo estado desde Punta Niluc hasta la Isla Techal, con un área de 313 km² y una estrecha desembocadura de 2.5km con una profundidad media de 2m (Cahuich, 2009; Landero *et al.*, 2014) (Fig. 4).

La RBSK hace parte del Complejo Sian Ka'an junto con el Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y la Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an. Es un complejo casi inalterado de sistema hidrológico que contiene selvas tropicales, humedales, manglares, pantanos, lagunas, playas, dunas, y sumideros, así como una gran sección marina cruzada por una barrera de coral (Claudino-Sales, 2019). Las barreras marinas de arrecifes de coral están separadas por extensos humedales interiores de agua dulce y altamente productivos estuarios de manglares y lagunas (Mazzotti *et al.*, 2005). Estos diversos ambientes permiten albergar una gran diversidad biológica, misma que incluye especies endémicas, sujetas a protección especial o en peligro de extinción y sitios de importancia para el ciclo biológico o refugio de diferentes especies (CONANP, 2014).

El clima es cálido subhúmedo (Aw2) con lluvias en verano, tres temporadas pueden distinguirse por las fluctuaciones en las precipitaciones y la temperatura ambiente: temporada de lluvias de mayo a octubre, temporada de Nortes de noviembre a febrero, y temporada seca de febrero a mayo con una temperatura media anual de 26.5°C (Acosta-Calderón *et al.*, 2016).

En la RBSK se llevan a cabo actividades de pesca y turismo como principales actividades socioeconómicas (Brenner y Vargas del Río, 2010). Tres cooperativas pesqueras, la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Vigía Chico, la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera Cozumel y la Sociedad Cooperativa José María Azcorra hacen extracción y aprovechamiento comercial de la langosta espinosa (*Panulirus*

ÁREA DE ESTUDIO

argus), de la cual dependen tres asentamientos humanos: Punta Allen, Punta Herrero y María Elena (Brenner y Vargas del Río, 2010; Rojas Correa y Palafox-Muñoz, 2019).

La temporada turística abarca dos periodos importantes durante los meses de marzo-abril (temporada alta) en semana santa y los meses de julio-agosto (temporada mediana) debido a vacaciones de verano (Arnegger, 2008). Existen cinco cooperativas turísticas formadas por pobladores locales: Punta Allen, Vigía Grande, Gaytanes, Las Boyas y Nativos (Rojas-Correa y Palafox-Muñoz, 2018).

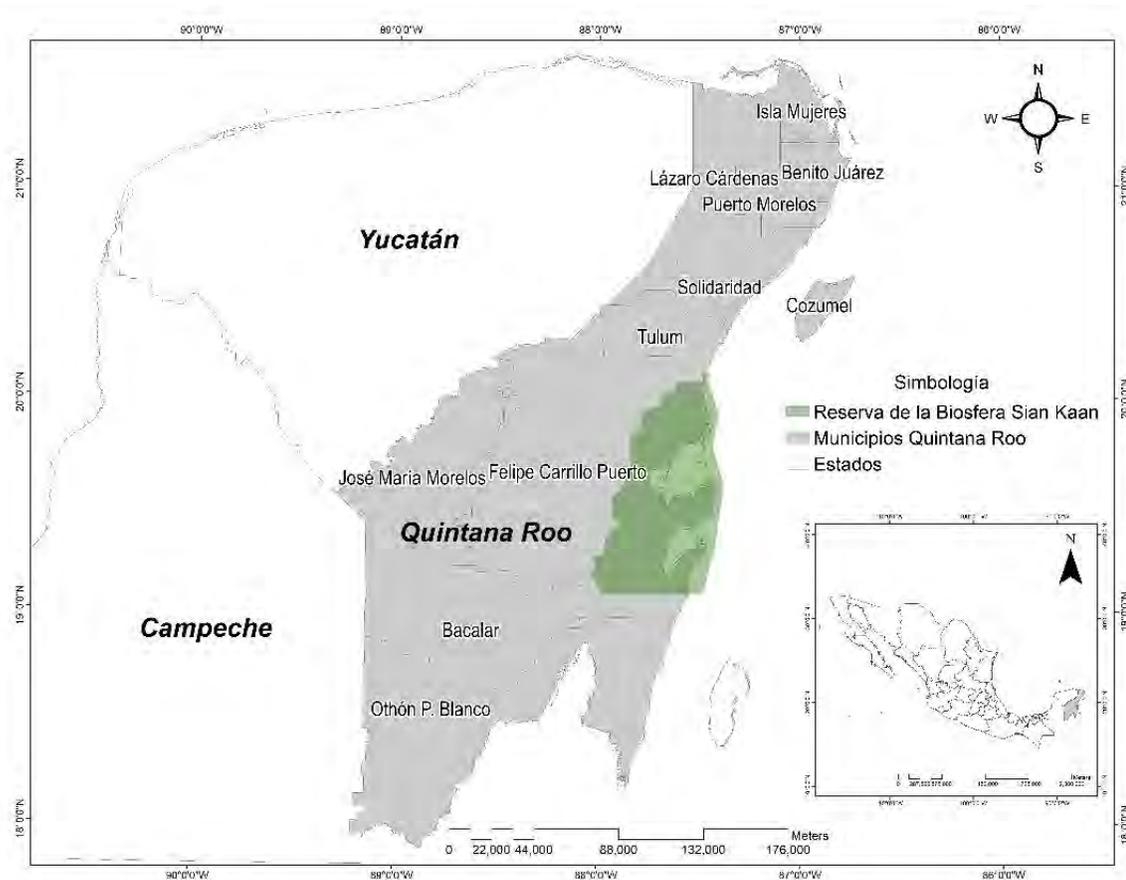


Fig. 4. Área de estudio: Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. (Elaboración propia).

9. MATERIALES Y MÉTODOS

9.1. METODOLOGÍA DE LA APLICACIÓN DE ENCUESTAS.

9.1.1. Diseño de la investigación cualitativa.

El trabajo se realizó bajo un diseño de estudio de caso. De acuerdo con Creswell (2007), los estudios de caso surgen del análisis de un problema a través de uno o más casos dentro de un entorno o contexto. Estos casos pueden involucrar a uno o varios individuos, un programa, un evento, un proceso o una actividad (Creswell, 2009). Por consiguiente, el investigador desarrolla generalizaciones naturalistas a partir del análisis de los datos.

En la investigación de estudio de caso, el caso se selecciona para ilustrar un problema por lo que se compila una descripción detallada del entorno. El investigador debe tener material contextual disponible para describir el caso. El procedimiento del análisis implica interpretaciones, afirmaciones y temas relacionados con el caso completo, además de incluir una interpretación día a día de las actividades del caso (Creswell, 2007).

Por lo tanto, en esta sección de la investigación se considera un estudio de caso porque se analiza un problema de amenaza para el manatí como es la colisión por embarcaciones donde existe un hecho que le antecede (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2020) y se busca contextualizar el caso, describiendo las actividades realizadas por la población residente y analizando las percepciones compartidas por la comunidad. En base a sus experiencias navegando o transitando en el área de estudio.

9.1.2. Muestra

La muestra fue un grupo de una población específica que corresponde en este caso al objeto de estudio en esta sección de la investigación. La muestra encuestada estuvo conformada por dos grupos focales: pescadores y prestadores de servicio turístico, quienes representan el sector navegante del área de estudio. El muestreo se realizó mediante la técnica de bola de nieve, mediante la cual se pide a los participantes que identifiquen a otros para transformarlos en miembros de la muestra y así eliminar la posibilidad de tener participantes no representativos (Creswell, 2012).

9.1.3. Instrumento

En este estudio fue implementado una encuesta de grupo focal mediante la cual un grupo de personas que responden a las preguntas formuladas en el instrumento (Creswell, 2012). Los diseños de encuesta permiten identificar tendencias en actitudes, opiniones, comportamientos o características de una población (Creswell, 2012).

Se aplicaron encuestas en la RBSK durante septiembre a noviembre del 2021 con la finalidad de conocer la actividad y temporada marítima, además de reportar casos por colisión con embarcaciones hacia el manatí y conocer las percepciones o experiencias de la comunidad de Sian Ka'an sobre esta problemática.

9.1.4. Análisis

El análisis cualitativo se realizó en el software ATLAS.ti (versión 22.0.11) donde se ingresó toda la información obtenida (respuestas) de las encuestas. Se crearon códigos y subcódigos (categorías), nubes de palabras, red de códigos y un informe de los códigos. Los códigos consistieron en la agrupación de las preguntas y cada respuesta a su vez en un subcódigo (Tab. 1). A partir de este análisis fue posible obtener datos cuantitativos como frecuencias absolutas y frecuencias relativas de cada localidad donde se aplicaron las encuestas.

Tabla 1. Códigos y subcódigos de las encuestas para el análisis en ATLAS.ti.

Código	Subcódigo
1. Actividad marítima	Pesquera, Pesquera y turística, Turística.
2. Intensidad de trabajo	2-3 días/semana, 5 días/semana, 7 días/semana.
3. Zona de trabajo	Bahía Ascensión, Lagunas-Punta Allen, Bahía Espíritu Santo, Punta Herrero-Arrecife.
4. Temporada de la actividad	12 meses, 5 meses, 8 meses.
5. Tipo de embarcación	Pesquero, Pesquero y recreacional, Recreacional.
6. Tamaño del motor	20 HP, 40 HP, 50 HP, 60 HP.
7. Longitud de la embarcación	7 metros, 7.62 metros.
8. Velocidad	10-20 km/h, 20-30 km/h, 30-40 km/h, 40-50 km/h, 50-60 km/h, 60-70 km/h, 70-80 km/h.
9. Lugares de observación de manatí	Bahía Ascensión y Lagunas, Lagunas y Punta Allen, Punta Herrero-Arrecife, Fondo de la Bahía Espíritu Santo.
10. Cantidad de manatíes observados	>10, 1, 2 a 4, 5 a 8.

MATERIAL Y MÉTODOS

11. Registro de colisión por embarcación: Lugar	Laguna Boca Paila, Playón, sin registro.
12. Registro de colisión por embarcación: Número de casos	0, 1, 2, 3 a 5.
13. Percepción: Consecuencia o afectación.	En Alta medida, En Moderada medida, En Baja medida.
14. Percepción: Frecuencia de los casos	NS, Poco frecuente.
15. Percepción: Importancia del manatí	Ecológica o Ambiental, Ecológica y Turística.
16. Percepción: Tráfico de embarcaciones como riesgo	No, Si
17. Percepción: Velocidad como factor de riesgo	No, Si
18. Conocimiento legal	No, Si
19. Comentarios personales	Conocimiento de normas legales, Conservación y conciencia ambiental, Experiencia con manatíes, Participación y gestión, Retroalimentación y expectativas.

Cada encuesta se estructuró de tal manera que en la primera parte se tomaron en cuenta datos sociodemográficos. En la segunda parte preguntas referentes a la actividad marítima que realiza la persona encuestada, intensidad de trabajo, zona de trabajo, temporada de la actividad y todo sobre su cotidianidad. La tercera parte consistió en el conocimiento del manatí en la región, reportes de colisión por embarcación hacia al manatí, percepciones y conocimiento legal. Por último, en observaciones o comentarios personales, la sección fue de manera muy abierta logrando captar diversas respuestas por parte de los encuestados.

Los códigos se agruparon en diferentes temáticas de acuerdo con la información obtenida por los participantes. Para organizar y no excluir toda la información relevante se agruparon en subcódigos. En el caso del código que corresponde al “Registro de colisión por embarcación” se dividió por el lugar y número de casos de dichos registros. Otro código como el de “Percepción” acerca de la problemática, se dividió en consecuencia o afectación, frecuencia de los casos, tráfico de embarcaciones como riesgo, velocidad de la embarcación como factor de riesgo e importancia del manatí.

El código de “Comentarios personales” se categorizó de acuerdo con los niveles de respuestas de cada participante en el que fueron mencionados conocimientos de normas legales, conservación y experiencias con el manatí, inquietudes en cuanto a participación y gestión del problema, retroalimentación y expectativas. En el caso de los códigos como

“Zona de trabajo”, “Velocidad”, “Lugares de observación de manatí”, “Registro de colisión por embarcación: Lugar”, fue necesario abstraer la información agrupando las respuestas.

9.2. METODOLOGÍA DEL MODELO DE NICHOS ECOLÓGICO

9.2.1. Colecta de datos

8.2.1.1 Datos de presencia de manatí

Para conocer la distribución del manatí se consultaron datos multifuentes como informes publicados, base de datos y entrevistas anteriores de la presencia de la especie en la Bahía Ascensión y Bahía Espíritu Santo. Se compilaron en total 87 registros de presencia de manatí en la RBSK de avistamientos confirmados a partir de estudios llevados a cabo del 2009 hasta la fecha mediante diferentes métodos de observación para la especie, desde embarcación, censos aéreos y sobrevuelos con dron (Tab. 2 y Fig. 5).

Tabla 2. Registros de presencia de manatí en la RBSK.

Año de avistamiento	Método de observación	Fuente
2009	Desde embarcación y censo aéreo	Landero-Figueroa, 2010 (tesis)
2014	Censo aéreo	Morales-Vela
2017	Sobrevuelo (Dron)	Landeo-Yauri, 2019 (tesis)
2018	Desde embarcación y sobrevuelo (Dron)	Castelblanco <i>et al</i> , 2019 (base de datos)
2019	Desde embarcación y sobrevuelo (Dron)	Castelblanco <i>et al</i> , 2019 (base de datos)
2021	Desde embarcación y sobrevuelo (Dron)	Estudio actual

MATERIAL Y MÉTODOS

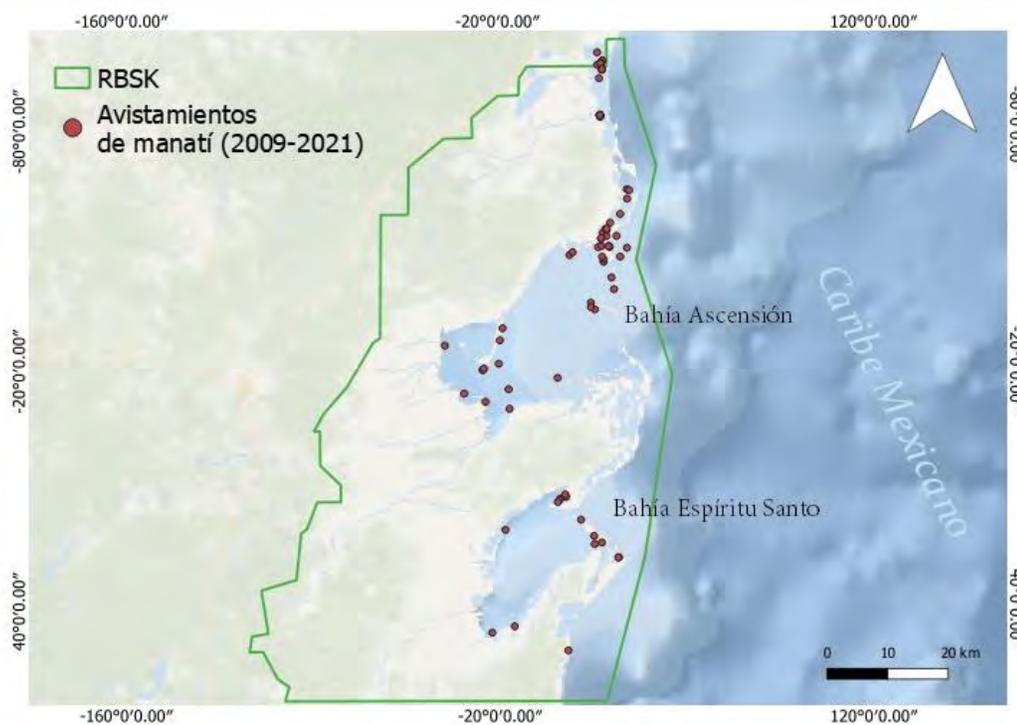


Fig. 5. Mapa de avistamientos de manatí antillano en la RBSK (2009-2021).

Durante los recorridos en lancha, se lograron avistar 38 individuos de manatí en total con 30 individuos adultos y ocho crías. Se observaron grupos de tres hasta cinco individuos con mayor número de observaciones en Laguna Caapechén (Tab. 3 y Fig. 6).

Tabla 3. Registros de avistamientos de manatí durante las salidas de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2021.

Fecha de observación	Lugar de observación	Número de adultos	Número de crías
30/08/2021	Laguna Boca Paila	2	1
30/08/2021	Laguna Caapechén	1	
31/08/2021	Laguna Caapechén	1	
02/09/2021	Laguna Caapechén	3	
02/09/2021	Frente al Faro	1	
06/09/2021	Muelle de Punta Allen	1	
06/09/2021	Frente al restaurante Los Gaytanes	3	2

MATERIAL Y MÉTODOS

07/09/2021	Piedras de Don Carmelo	1	
10/10/2021	Blanquisal Grande	3	2
10/10/2021	Laguna Negra	4	
13/10/2021	Laguna Negra	1	
14/10/2021	Laguna Caapechén	1	
14/10/2021	Laguna Caapechén	1	
14/10/2021	Laguna Caapechén	3	1
15/10/2021	Arrecife frente al Faro	1	
01/11/2021	Blanquisal Grande		1
05/11/2021	Frente al restaurante Los Gaytanes	1	
06/11/2021	El Playón	1	
09/11/2021	Frente al restaurante Los Gaytanes	1	1

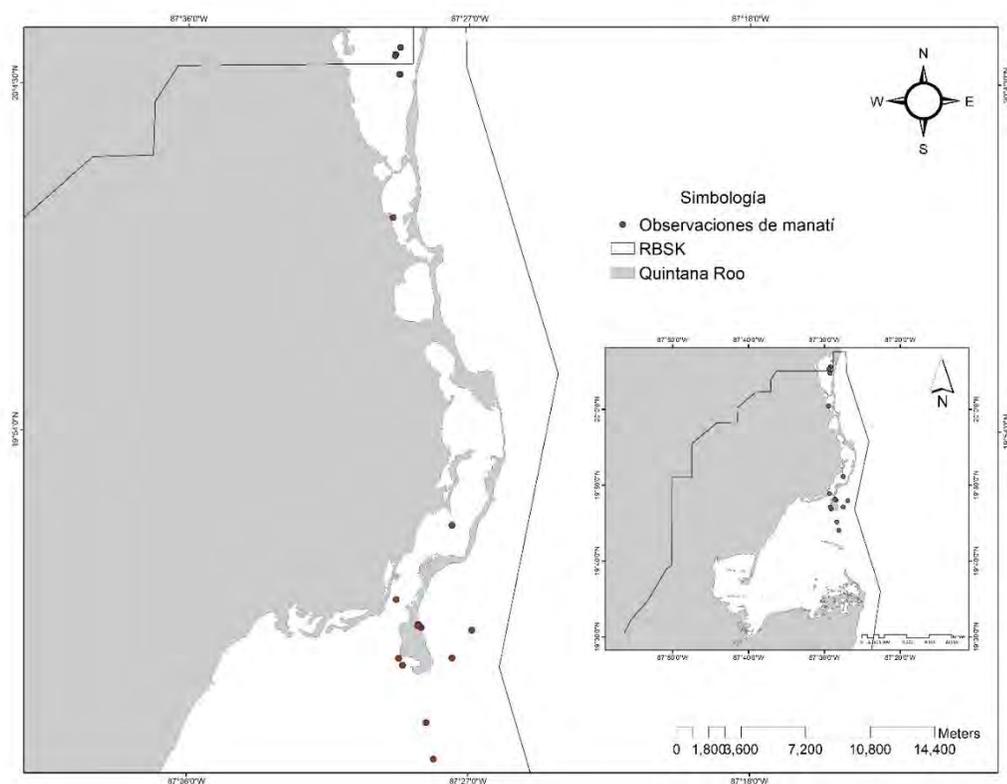


Fig. 6. Observaciones de manatí registradas durante las salidas de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2021.

MATERIAL Y MÉTODOS

Durante un recorrido, se observaron 10 individuos de manatí en total, 7 individuos adultos y tres crías. De los cuales se observaron dos grupos de cuatro individuos y una madre con cría en el sitio Chan Cozumel (Tab. 4 y Fig. 7).

Tabla 4. Registros de avistamientos de manatí durante la salida de noviembre de 2021.

Fecha de observación	Lugar de observación	Número de adultos	Número de crías
12/11/2021	Chan Cozumel	4	
12/11/2021	Chan Cozumel	2	2
12/11/2021	Chan Cozumel	1	1

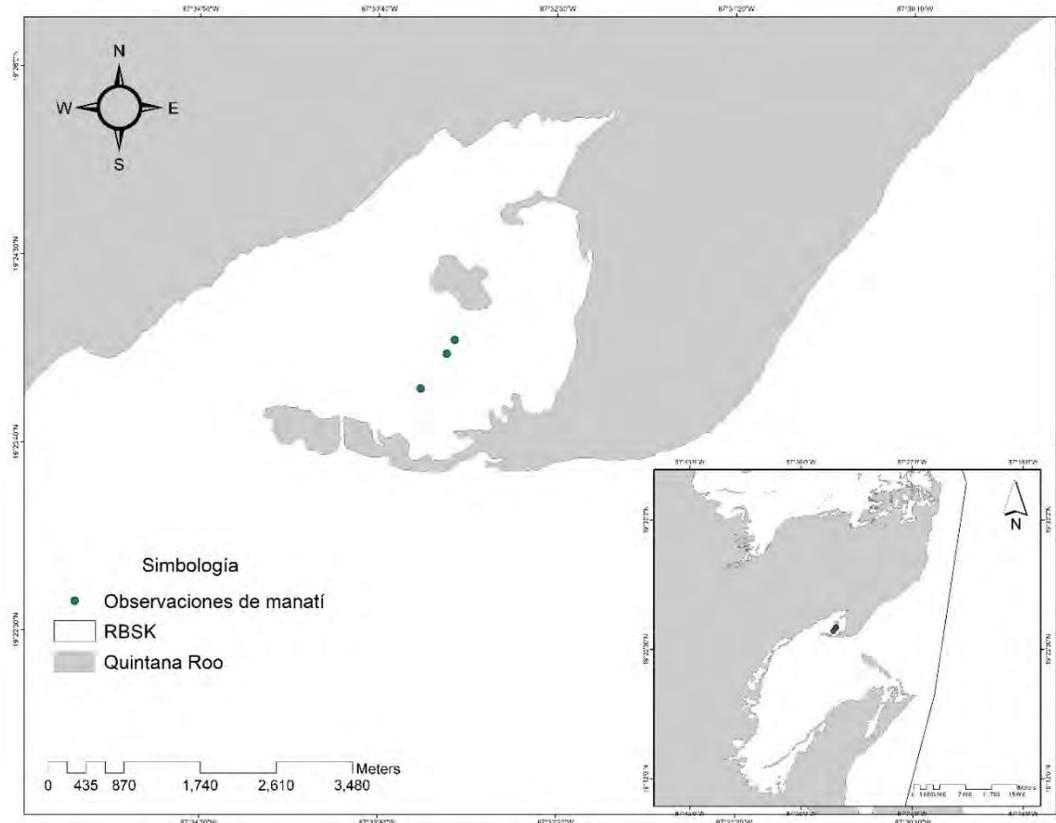


Fig. 7. Observaciones de manatí registradas durante la salida de noviembre de 2021.

8.2.2.1 Datos de variables ambientales

Las variables ambientales que se utilizaron para modelar el nicho ecológico del manatí en la RBSK fueron: salinidad, temperatura y batimetría. Las variables de salinidad y temperatura se obtuvieron de MARSPEC (<http://www.marspec.org>) en formato GeoTiff como datos mensuales a una resolución espacial de 1km. La variable de batimetría se obtuvo de GEBCO (<https://www.gebco.net/>) también en formato GeoTiff a una resolución espacial de 1km.

9.3. METODOLOGÍA Y CRITERIOS DEL MODELO DE RIESGO (HRA)

Para evaluar el riesgo de colisión se utilizaron los siguientes datos de entrada para el modelo HRA en formato vectorial y ráster: área de estudio o polígono de la RBSK, polígono de la Bahía Ascensión y Bahía Espíritu Santo en formato vectorial (.shp). La distribución del manatí en función de la idoneidad del hábitat predicha por Maxent, presencia de pasto marino y presencia de actividad turística y pesquera en formato ráster (.tif).

Los datos en formato ráster se clasificaron con valores de 0 y 1 para representar 1 como presencia de un hábitat o un factor de estrés y 0 como ausencia de un hábitat o un factor de estrés. Por otro lado, el modelo HRA considera a los datos en formato vectorial como presencia del hábitat o un factor estresante. Para el modelo, se tomó en cuenta como capas de hábitat a las bahías de la RBSK, distribución del manatí y pasto marino. La presencia de actividad turística y pesquera como las capas de estresores con un buffer o zona de influencia de 50 m.

Con esto, se elaboró la tabla con información de los datos de entrada (hábitat y factores de estrés), la tabla de criterios con sus ponderaciones en formato Excel (.csv) y la puntuación de la calidad de los datos usados en el modelo HRA. La tabla de criterios de exposición y consecuencia se clasificaron con puntuaciones de 0 a 3 de la siguiente manera de acuerdo con el enfoque metodológico de Verutes *et al* (2020).

9.3.1. Clasificación de los criterios de resiliencia.

Los atributos de resiliencia se utilizaron en el modelo HRA para poder describir las consecuencias (impacto) para la especie al evaluar cómo responderá y se recuperará la población del impacto. Se revisó la literatura sobre la resiliencia del manatí para asignar

puntajes de calificación a los criterios de consecuencia relacionados con la edad de madurez sexual, estrategia reproductiva, la conectividad de la población y el estado de conservación local de la especie (Tab. 5).

Edad de madurez sexual: En general las especies del orden Sirenia son mamíferos marinos de estrategia de vida “K”, son longevos con una tasa de reproducción baja y alta tasa de supervivencia de adultos (Marsh *et al.*, 1986; Marmontel *et al.*, 1992). Se ha observado que el manatí de Florida alcanza la madurez sexual entre los dos y cinco años (Reep y Bonde, 2006). Al igual, para hembras de cuatro y cinco años que dieron a luz indican que alcanzaron una madurez sexual de tres a cuatro años, con base en un período de gestación de 12-13 meses (Koelsch, 2001).

En Brasil, la liberación de manatíes (*T. m. manatus*) con una edad promedio de 5.3 años considerados sexualmente maduros pudo aumentar el éxito reproductivo, sin embargo, nueve años después de la liberación ocurrió el primer nacimiento (Normande *et al.*, 2015). En México, se estima una madurez sexual de las hembras entre 2.5 y 4 años con un periodo de gestación de 12 a 15 meses (Morales-Vela y Padilla-Saldívar, 2001).

Estrategia reproductiva: Las hembras tienen una cría por alumbramiento, se estima un intervalo promedio de nacimientos de 2.5-3 años (Marmontel *et al.*, 1992). Se ha documentado un intervalo mayor de nacimiento de 4-5 años y un intervalo menor de 1-2 años por lo que la lactancia y gestación pueden ocurrir en el mismo tiempo (Rathbun *et al.*, 1995). En Sarasota Bay, Florida algunas hembras de manatí (*T. m. latirostris*) no se observaron con crías durante cinco años de monitoreo, algunos individuos pudieran tener baja capacidad reproductiva, sin embargo, 53 hembras dieron nacimiento a 55 crías durante los cinco años de observación (Koelsch, 2001).

La relación es muy estrecha entre madre y cría por lo que se ha observado que vocalizan frecuentemente y salen a respirar sincrónicamente (Reynolds, 1981). Tienen un largo periodo de cuidado maternal, aunque el destete ocurre entre 1-2 años de la cría, las crías de hasta cuatro años pueden seguir amamantándose (Reynolds *et al.*, 2009). En México, se estima un intervalo promedio de nacimientos cada tres años y cuidado maternal de 1-2 años (Morales-Vela y Padilla-Saldívar, 2001; Morales-Vela y Padilla-Saldívar, 2009a).

Conectividad poblacional: De acuerdo con estudios sobre patrones de distribución y uso del hábitat del manatí. Se ha observado al manatí antillano (*T. manatus*)

en Florida realizando movimientos de más de 820 km en la costa este de Florida con un patrón de migración estacional (Reid *et al.*, 1991).

En México, se ha observado para la subespecie (*T. m. manatus*) una alta dispersión en un sistema de humedales tierra adentro de 40-50 km (Rodas-Trejo *et al.*, 2008). Y ocupando el 80% de un área lagunar de 260 hectáreas, concentrándose en áreas con mayor vegetación en la orilla siendo estas zonas de gran actividad para su alimentación (Ramírez-Jiménez, 2008; Ramírez-Jiménez *et al.*, 2017).

Manatíes capturados en la Bahía Chetumal han mostrado diferentes patrones de movimiento, algunos individuos permanecen en la Bahía, mientras que también pueden trasladarse a largas distancia de más de 240 km, se observó que la mayoría de los individuos viajó a fuentes de agua dulce como Laguna Guerrero, zona centro de la Bahía, Río Hondo, Laguna Norte, Laguna Sur, costa sureste y noroeste de Belice (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2013).

Para la RBSK, algunos individuos han sido marcados por telemetría satelital en la Bahía Ascensión mostrando poco desplazamiento y soliendo permanecer en la parte interna de la Bahía (Morales-Vela y Padilla-Saldivar, 2009), donde se ha observado baja densidad de pastos marinos, pero con descargas de agua dulce, siendo un factor importante para la ocurrencia del manatí (Landeró-Figueroa, 2010; Landeró *et al.*, 2014).

Estado de conservación local: A nivel local e internacional esta subespecie es considerada en peligro de extinción por la NOM-059-SEMARNAT-2010 en México y por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, UICN (EN) (Self y Mignucci, 2008; SEMARNAT, 2010). Además de estar incluida en el Apéndice I de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora (CITES, 2015) (SEMARNAT, 2018).

9.3.2. Criterios de consecuencia- sensibilidad

Los atributos de sensibilidad se utilizaron en el modelo HRA para poder describir las consecuencias (impacto) del estresor ante la especie. Se revisó la literatura sobre la sensibilidad del manatí para asignar puntajes de calificación a los criterios de consecuencia relacionados con la mortalidad y etapas de vida afectadas por la colisión con embarcaciones (Tab. 5).

Mortalidad: De acuerdo con la revisión de la literatura, las causas de mortalidad en el manatí pueden ser variadas, algunas causas pueden ser de manera natural, por perturbaciones naturales (fenómenos meteorológicos) (Bonde *et al.*, 2012; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2012; Galves *et al.*, 2022) o por causas antropogénicas (captura incidental, caza, contaminación de cuerpos de agua, colisión por embarcaciones) (Mignucci-Giannoni *et al.*, 2000; Marsh *et al.*, 2012; Romero-Berny *et al.*, 2014; Alvarez-Alemán *et al.*, 2021; Avila y Giraldo, 2022).

En el manatí antillano *T. m. manatus* se ha observado mortalidad por orfandad, causas antropogénicas como captura incidental, captura directa y por heridas de colisión con embarcaciones (Mignucci-Giannoni *et al.*, 2000; De Meirelles, 2008). Las perturbaciones naturales pudieran no afectar de manera significativa el crecimiento de la población de manatí antillano, sin embargo, el cambio climático puede empeorar la fragmentación del hábitat, la pérdida de áreas importantes de alimentación y modificar el paisaje (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2012). En México, se estima que un manatí muere cada dos años debido a causas antropogénicas con respecto al 0.31% de muertes anuales ocurridas en Bahía Chetumal (Morales-Vela *et al.*, 2002; Morales-Vela y Padilla-Saldivar, 2009). Mientras que, en Belice ocurre una mortalidad media anual de 14 individuos debido a causas antropogénicas, siendo la colisión con embarcaciones la principal amenaza de mortalidad (Galves *et al.*, 2022).

Las interacciones con embarcaciones pueden conllevar diferentes grados de trauma o lesión en el manatí. Se han clasificado estos traumas a través de diagnósticos de necropsias (Lightsey *et al.*, 2006). De acuerdo con estos diagnósticos, se considera la siguiente clasificación: Herida letal a todo traumatismo interno (hemotórax, neumotórax, piotórax, hidrotórax, hemorragia abdominal, órganos internos lacerados y fractura de cráneo) causado por el golpe o impacto del casco, quilla de la embarcación y que compromete la salud o movilidad del animal (Lightsey *et al.*, 2006; Rommel *et al.*, 2007). Herida subletal a todo traumatismo externo (laceración cutánea o muscular) causado por la propele de la embarcación, pero que le permite al animal llevar a cabo su proceso normal de cicatrización (Rommel *et al.*, 2007; Bassett *et al.*, 2020). Por último, la herida no letal a ningún signo de lesión interna o externa en el manatí.

Etapas de vida afectadas por la colisión: En el manatí de Florida (*T. m. latirostris*) se ha demostrado que las heridas subletales pueden variar dependiendo del sexo y etapa de vida del manatí, debido a que el número de cicatrices aumenta con la longitud

del individuo (Bassett *et al.*, 2020). En este mismo estudio se ha observado una mayor incidencia de heridas subletales en manatíes adultos seguido de subadultos y crías. Se estima que uno de cada cuatro manatíes adultos es víctima de golpe por embarcación (Bassett *et al.*, 2020).

Para el manatí antillano (*T. m. manatus*) se asume que todas las etapas de vida pueden ser afectadas por la interacción con la embarcación. Sin embargo, se toma en cuenta esta misma proporción del manatí de Florida para el criterio dentro del modelo.

9.3.3. Criterios de exposición

Los criterios de exposición utilizados en el modelo HRA describen el grado en que la especie se encuentra expuesta al estresor. Se revisó la literatura y se tomó en cuenta la información obtenida sobre la actividad del tráfico de embarcaciones en el área de estudio para asignar puntajes de calificación a los criterios de exposición relacionados con la superposición entre la distribución del manatí y la extensión espacial de la actividad marítima, la probabilidad de colisión del manatí con embarcaciones y el grado en que se identifica y/o implementa la gestión actual con respecto a las actividades del tráfico marítimo (Tab. 5).

Superposición temporal: Se ha observado al manatí (*T. m. manatus*) preferir áreas someras de la Bahía Ascensión entre 1-4m de profundidad (Morales-Vela y Padilla-Saldívar, 2001; Morales-Vela y Padilla-Saldívar, 2009; Landero *et al.*, 2014). Entrevistas y encuestas a través de estudios aplicadas a pescadores y prestadores de servicio turístico de la RBSK, indican que los manatíes tienen presencia en el fondo de la Bahía Ascensión, en la boca de la bahía, en ojos de agua dulce en la zona de Lagunas, en el arrecife y zona costera (Landero-Figueroa, 2010; Landeo-Yauri, 2019).

En la Bahía Espíritu Santo se informa la presencia de manatí en la zona norte y sur de la bahía, en el arrecife y zona costera (estudio actual).

La actividad turística se realiza con más frecuencia en la Bahía Ascensión que en la Bahía Espíritu Santo, siendo todo el año con más intensidad durante la temporada alta de turismo. La actividad pesquera se realiza durante ocho meses en ambas bahías, siendo la principal actividad la pesca de langosta (Arnegger, 2008; Sosa-Cordero *et al.*, 2008; Brenner y Vargas del Río, 2010).

Probabilidad de colisión: La colisión por embarcaciones representa una de las amenazas para el manatí. Aproximadamente el 25% de las muertes del manatí de Florida (*T. m. latirostris*) representa esta problemática (Aipanjiguly *et al.*, 2003; Calleson y Frohlich, 2007). Se ha observado que las heridas subletales en el manatí de Florida representan el 96% de individuos adultos, 70% subadultos y 34% crías, en promedio las hembras adultas mostraron más cicatrices que los machos adultos (Bassett *et al.*, 2020).

En México, muertes de manatí (*T. m. manatus*) por colisión con embarcaciones han sido reportadas (Colmenero-Rolón, 1985; Morales-Vela y Padilla-Saldivar, 2009b; Olivera-Gómez y Jiménez-Domínguez, 2010; Rodas-Trejo *et al.*, 2008; Romero-Berny *et al.*, 2014; Castelblanco-Martínez *et al.*, 2020). Incluyendo algunos reportes de heridas subletales (Delgado-Estrella *et al.*, 2020). En la RBSK, se reporta por primera vez una hembra juvenil víctima de una herida letal (Castelblanco-Martínez *et al.*, 2020) y un segundo reporte de muerte por colisión de una hembra con cría (N. Castelblanco, comunicación personal, 2022). En Belice, se han reportado hasta 131 casos de muerte relacionados por colisión con embarcaciones durante 1997-2019 (Galves *et al.*, 2022).

La probabilidad de colisión se puede ver aumentada con respecto a la velocidad que transita la embarcación, teniendo consecuencia en una herida letal en el manatí (Combs, 2018). Esta probabilidad también puede aumentar en profundidades menores a 0.91 m donde los manatíes están más vulnerables a golpes por la embarcación (Edwards *et al.*, 2016).

Estado actual de gestión: Dentro del Programa de Manejo de la RBSK, que es el instrumento de planeación y regulación, existen zonas delimitadas o sub zonificaciones. Ambas bahías (Bahía Ascensión y Bahía Espíritu Santo) y una porción en el área de Lagunas forman parte de la subzona de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales marinos donde se permite la pesca comercial, pesca deportiva, tránsito de embarcaciones mayores y turismo de bajo impacto ambiental. Esta subzona colinda con la de uso público: Caapechén-Boca Paila y Mosquitero donde se permite pesca deportiva de liberación, turismo y turismo de bajo impacto ambiental. Adicionalmente se encuentran ciertas subzonas de uso restringido en el fondo de las bahías donde no se permite la pesca comercial y tránsito de embarcaciones mayores, sin embargo, se permite el turismo de bajo impacto ambiental.

MATERIAL Y MÉTODOS

En cuanto al límite de velocidad del tránsito de las embarcaciones, no se mencionan estrategias de gestión para la especie, sin embargo, las embarcaciones que transitan por canales y lagunas tienen permitidos motores de hasta 40 HP. En áreas como canales, anidación de aves acuáticas y áreas de buceo, la velocidad máxima permitida es de cuatro nudos (CONANP, 2014).

Tabla 5. Descripción y calificación de los criterios de exposición y consecuencia.

Criterio	Riesgo Alto (3)	Riesgo Medio (2)	Riesgo Bajo (1)	Descripción
Exposición (<i>estresor</i>)				
Superposición temporal	(12 meses) todo el año	(4-11 meses)	Ocasional (1-3 meses)	Periodo en que la actividad marítima se superpone en el espacio.
Intensidad	Alta intensidad	Media intensidad	Baja intensidad	Mayor o menor grado de actividad marítima.
Probabilidad de colisión	Alta probabilidad	Media probabilidad	Baja probabilidad	Superposición entre la presencia de manatí y presencia de embarcaciones.
Estado actual de la gestión	No se identifican/implementan estrategias	Estrategias de gestión identificadas/ no implementadas	Estrategias de gestión identificadas e implementadas	Las estrategias de gestión pueden mitigar los impactos negativos para la especie en cuestión.
Consecuencia (<i>impacto</i>) – resiliencia				
Edad de madurez sexual	> 3 años	2-3 años	< 2 años	Etapas de transición a la adultez para alcanzar su edad fértil. Edad mínima de reproducción del individuo.
Estrategia reproductiva	Largo intervalo entre nacimientos/ largo cuidado parental	Medio intervalo de nacimientos/ largo cuidado parental	Corto intervalo de nacimientos/ medio cuidado parental	Modo de cuidado parental, periodo en que la especie protege su descendencia.
Conectividad poblacional	Intercambio o movilidad insignificante	Movimiento ocasional/	Movimiento regular/	Patrones de movimiento con

Evaluación espacial del riesgo de colisión por embarcaciones para manatíes en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (RBSK)

MATERIAL Y MÉTODOS

	entre la población y otras poblaciones	intercambio entre la población y otras poblaciones	intercambio entre la población y otras poblaciones	otras poblaciones, capacidad de dispersión.
Estado de conservación local de la especie	En peligro	Amenazada	Sujeta a protección especial	Estado de conservación a nivel regional de la especie.
Consecuencia (impacto) – sensibilidad				
Mortalidad	Letal	Subletal	No letal	Impacto directo de la actividad marítima en la tasa de mortalidad de la especie.
Etapas de vida afectadas por la colisión	Adultos	Subadultos	Crías	En caso de que la actividad marítima afecte a un individuo potencialmente reproductivo, es probable que se inhiba la recuperación.

Tabla 6. Criterios de consecuencia para cada actividad marítima en ambas bahías de la RBSK. Puntajes para cada criterio que contribuye al riesgo alto (3), medio (2) y bajo (1). La calidad de los datos (DQ) y peso (W) se muestra para cada criterio.

Consecuencia - Resiliencia	Bahía Ascensión	Bahía Espíritu Santo	DQ=	W=
• Edad de madurez sexual	3	3	1	3
• Estrategia reproductiva	3	3	1	3
• Conectividad poblacional	2	2	2	1
• Estatus local de la especie	3	3	1	2
Consecuencia Sensibilidad				
Mortalidad				
• Act. pesquera	2	2	2	2
• Act. turística	3	1	2	2
Etapas de vida afectadas por la colisión				
• Act. pesquera	3	3	2	2
• Act. turística	3	3	3	2

MATERIAL Y MÉTODOS

Tabla 7. Criterios de exposición para cada actividad marítima en ambas bahías de la RBSK. Puntajes para cada criterio que contribuye al riesgo alto (3), medio (2) y bajo (1). La calidad de los datos (DQ) y peso (W) se muestra para cada criterio.

Criterios de exposición	Bahía Ascensión	Bahía Espíritu Santo	DQ=	W=
Superposición espacial				
Superposición temporal				
Act. pesquera	2	2	1	1
Act. turística	3	1	1	1
Intensidad				
Act. pesquera	2	2	3	1
Act. turística	3	1	3	1
Probabilidad de colisión				
Act. pesquera	3	3	2	1
Act. turística	3	3	2	1
Estado actual de la gestión				
Act. pesquera	2	3	3	2
Act. turística	2	3	3	2

Tabla 8. Calificación para la calidad de los datos para la evaluación del riesgo de colisión.

Calidad del dato	Descripción	Ejemplo
1	Datos altamente confiables. Existe información sustancial disponible para justificar el puntaje, basada en datos recopilados en la región de estudio (o cerca) para la especie en cuestión.	Avistamientos de la especie. Datos georreferenciados colectados en el área de estudio. Los datos se pueden usar para estimar la distribución de la especie con metodologías robustas y mediciones de incertidumbres.
2	Datos adecuados. Existe información sustancial de datos recopilados fuera de la región de estudio, se puede basar en especies relacionadas, puede representar relaciones estadísticas moderadas o insignificantes.	Idoneidad del hábitat. Se puede estimar usando métodos de distribución no modelada, mínimos datos recolectados de variables ambientales.
3	Datos limitados. No existe información o literatura suficiente que justifique el puntaje para la especie, pero se puede hacer una inferencia razonable.	Tráfico de embarcaciones y tipo de actividad marítima. Datos incompletos o escasos, sin geolocalización o localización precisa de la actividad marítima.

Para la evaluación del riesgo de colisión se optó por la ecuación de riesgo euclidiano (Verutes *et al.*, 2020). Por último, se generaron los archivos de salida en GeoJSON para la visualización web de los resultados por el modelo HRA (ver anexo 5).

10. RESULTADOS

10.1. ENCUESTAS

Se aplicaron en total 49 encuestas, donde 29 participantes corresponden a la localidad de Punta Allen y 20 participantes a la localidad de María Elena.

La edad de los participantes constó del 8.16% (muestra total) de 18-25 años, 8.16% (muestra total) de 25-35, 26.53% (muestra total) 35-45 años, 30.61% (muestra total) 45-55 años, (26.53%) >55 años (Tab. 9). El porcentaje de sexo de los participantes constó del 91.84% (muestra total) fue masculino y el 8.16% (muestra total) femenino (Tab. 10).

Tabla 9. Edad de los participantes por localidad.

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales	Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Edad: >55	8	40.00%	5	17.24%	13	26.53%
Edad: 18-25	3	15.00%	1	3.45%	4	8.16%
Edad: 25-35	1	5.00%	3	10.35%	4	8.16%
Edad: 35-45	3	15.00%	10	34.48%	13	26.53%
Edad: 45-55	5	25.00%	10	34.48%	15	30.61%
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49	100%

RESULTADOS

Tabla 10. Sexo de los participantes por localidad.

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales	Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Sexo: Femenino	1	5.00%	3	10.35%	4	8.16%
Sexo: Masculino	19	95.00%	26	89.65%	45	91.84%
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49	100%

El tiempo de residir de los participantes en la región el 12.24% (muestra total) <10 años, 20.41% (muestra total) 10-20 años, 32.65% (muestra total) 20-40 años y 34.69% (muestra total) >40 años (Tab. 11).

Tabla 11. Tiempo de residir en la región de los participantes por localidad.

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales	Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Tiempo de residir en la región: <10	3	15.00%	3	10.35%	6	12.24%
Tiempo de residir en la región: >40	6	30.00%	11	37.93%	17	34.69%
Tiempo de residir en la región: 10-20	4	20.00%	6	20.69%	10	20.41%
Tiempo de residir en la región: 20-40	7	35.00%	9	31.03%	16	32.65%
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49	100%

RESULTADOS

Para la actividad marítima en la localidad de Punta Allen (n=29); 5 participantes (17.24%) respondieron realizar actividad pesquera, 8 (27.59%) actividad pesquera y turística y 16 (55.17%) actividad turística. En María Elena (n=20); 19 (95%) respondieron realizar actividad pesquera y uno (5%) actividad pesquera y turística (Tab. 12 y Fig. 8).

Tabla 12. Tipo de actividad marítima respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Qué actividad realiza?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Actividad marítima: Pesquera	19	95.00%	5	17.24%	24
Actividad marítima: Pesquera y Turística	1	5.00%	8	27.59%	9
Actividad marítima: Turística	0	0.00%	16	55.17%	16
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

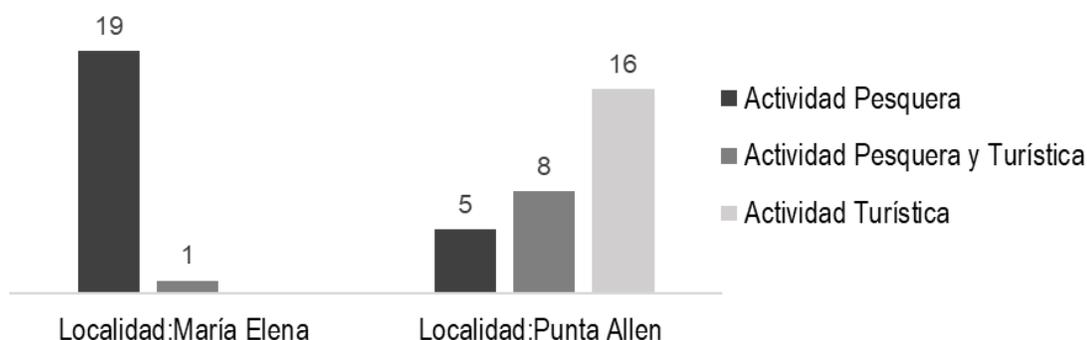


Fig. 8. Frecuencia absoluta por localidad según el tipo de actividad marítima.

La zona de trabajo o el lugar que suelen frecuentar a realizar dicha actividad en la localidad de Punta Allen; 11 participantes (37.93%) respondieron en la Bahía Ascensión, 18 (62.07%) en la zona de las Lagunas hasta Punta Allen. En María Elena; un participante (5%) en la Bahía Espíritu Santo y 19 (95%) desde Punta Herrero hasta el área arrecifal (Tab. 13 y Fig. 9).

RESULTADOS

Tabla 13. Zona de trabajo respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Qué lugar frecuenta?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Zona de trabajo: Bahía Ascensión	0	0.00%	11	37.93%	11
Zona de trabajo: Bahía Espiritu Santo	1	5.00%	0	0.00%	1
Zona de trabajo: Lagunas-Punta Allen	0	0.00%	18	62.07%	18
Zona de trabajo: Punta Herrero-Arrecife	19	95.00%	0	0.00%	19
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

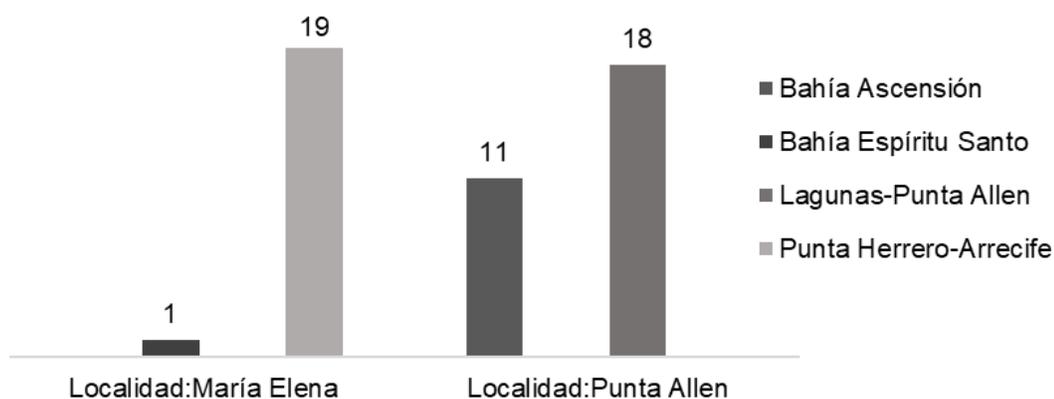


Fig. 9. Frecuencia absoluta por localidad según la zona de trabajo.

La intensidad de trabajo o la frecuencia con la que acuden a dicha zona de trabajo en localidad de Punta Allen; 12 participantes (41.38%) respondieron que dos a tres días por semana, 5 (17.24%) cinco días por semana y 12 (41.38%) siete días por semana. En María Elena; un participante (5%) respondió de dos a tres días por semana, 2 (10%) cinco días por semana y 17 (85%) siete días por semana (Tab. 14 y Fig. 10).

RESULTADOS

Tabla 14. Intensidad de trabajo respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Con qué frecuencia?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Intensidad de trabajo: 2-3 días/semana	1	5.00%	12	41.38%	13
Intensidad de trabajo: 5 días/semana	2	10.00%	5	17.24%	7
Intensidad de trabajo: 7 días/semana	17	85.00%	12	41.38%	29
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

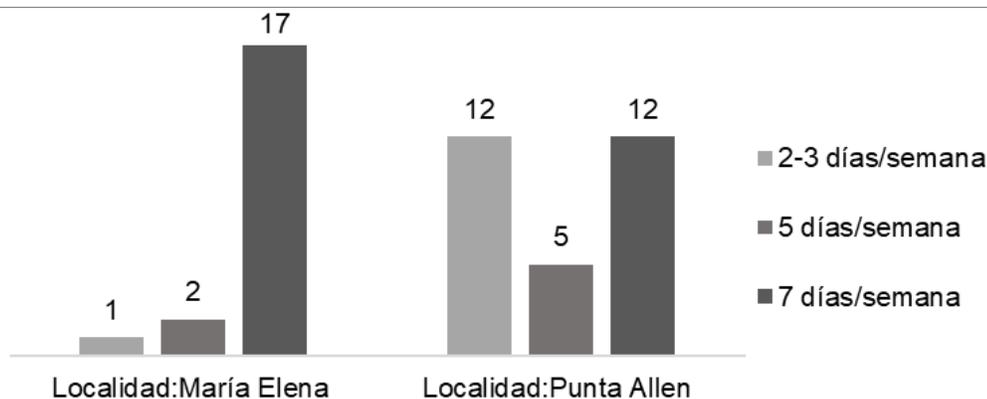


Fig. 10. Frecuencia absoluta por localidad según la intensidad de trabajo.

La temporada de la actividad marítima de acuerdo con los meses que realizan dicha actividad en la localidad de Punta Allen; 26 participantes (89.65%) respondieron que 12 meses, 2 (6.90%) ocho meses y un participante (3.45%) cinco meses. En María Elena; 2 (10%) respondieron que 12 meses y 18 (90%) realizar la actividad durante ocho meses (Tab. 15 y Fig. 11).

RESULTADOS

Tabla 15. Temporada de la actividad respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Qué mes?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
<i>Temporada de la actividad: 12 meses</i>	2	10.00%	26	89.65%	28
<i>Temporada de la actividad: 5 meses</i>	0	0.00%	1	3.45%	1
<i>Temporada de la actividad: 8 meses</i>	18	90.00%	2	6.90%	20
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

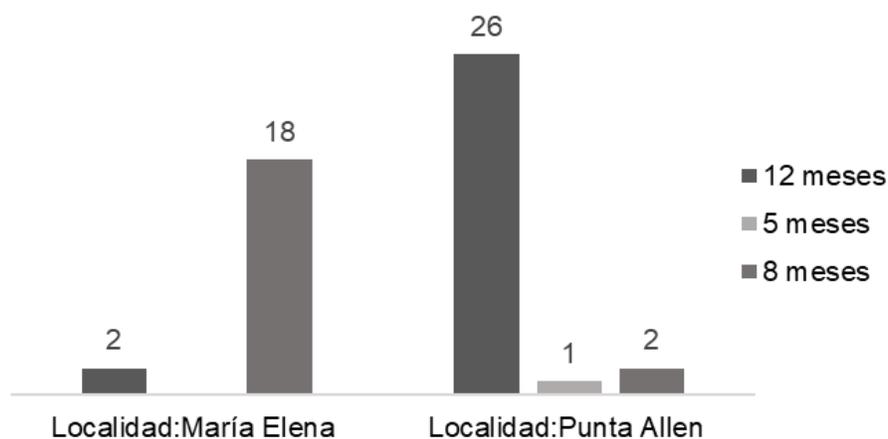


Fig. 11. Frecuencia absoluta por localidad según la temporada de la actividad.

El tipo de embarcación utilizado en la localidad de Punta Allen; cinco participantes (17.24%) respondieron utilizar embarcación pesquera, 8 (27.59%) embarcación pesquera y recreacional, 16 (55.17%) recreacional. En María Elena; 19 (95%) respondieron usar embarcación pesquera, 1 (5%) embarcación pesquera y recreacional (Tab. 16 y Fig. 12).

RESULTADOS

Tabla 16. Tipo de embarcación según por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Qué tipo de embarcación utiliza?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Tipo de embarcación: Pesquero	19	95.00%	5	17.24%	24
Tipo de embarcación: Pesquero y recreacional	1	5.00%	8	27.59%	9
Tipo de embarcación: Recreacional	0	0.00%	16	55.17%	16
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

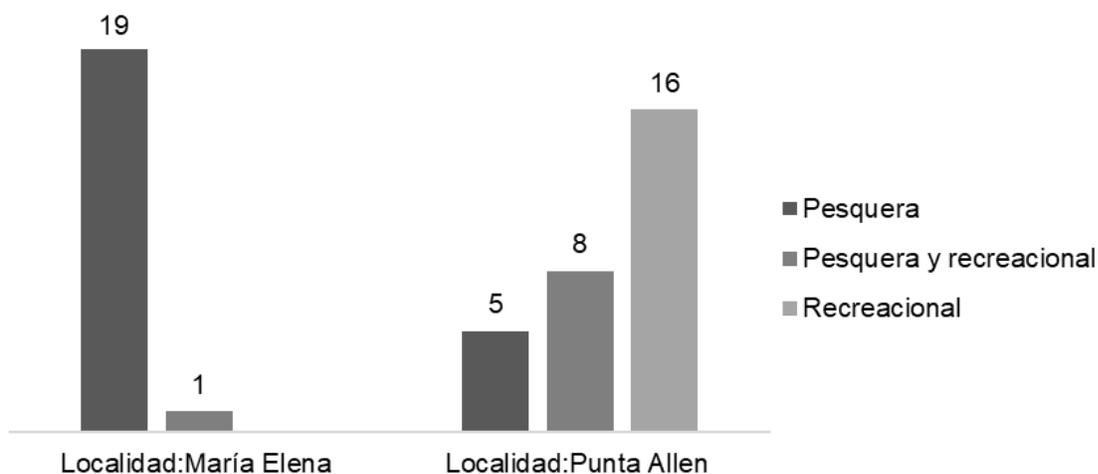


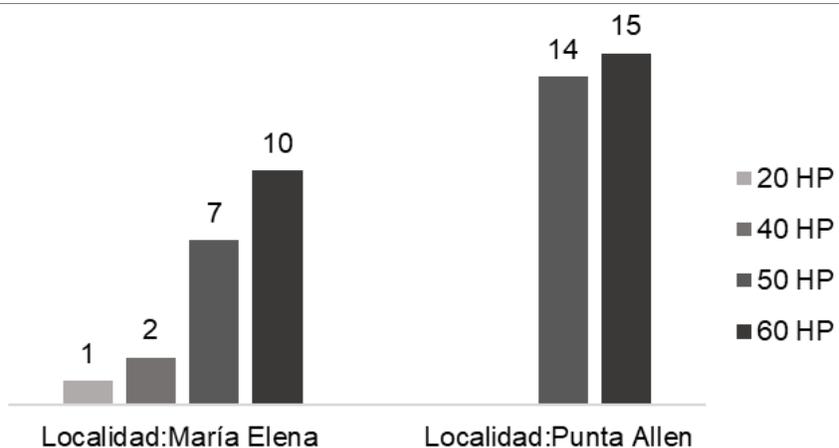
Fig. 12. Frecuencia absoluta por localidad según el tipo de embarcación.

El tamaño del motor de la embarcación en la localidad de Punta Allen; 14 participantes (48.28%) respondieron 50 HP y 15 (51.72%) 60 HP. En María Elena; un participante (5%) respondió 20 HP, 2 (10%) 40 HP, 7 (35%) 50 HP y 10 (50%) 60 HP (Tab. 17 y Fig. 13).

RESULTADOS

Tabla 17. Tamaño del motor respondida por los participantes de cada localidad.

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
<i>Tamaño del motor: 20 HP</i>	1	5.00%	0	0.00%	1
<i>Tamaño del motor: 40 HP</i>	2	10.00%	0	0.00%	2
<i>Tamaño del motor: 50 HP</i>	7	35.00%	14	48.28%	21
<i>Tamaño del motor: 60 HP</i>	10	50.00%	15	51.72%	25
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

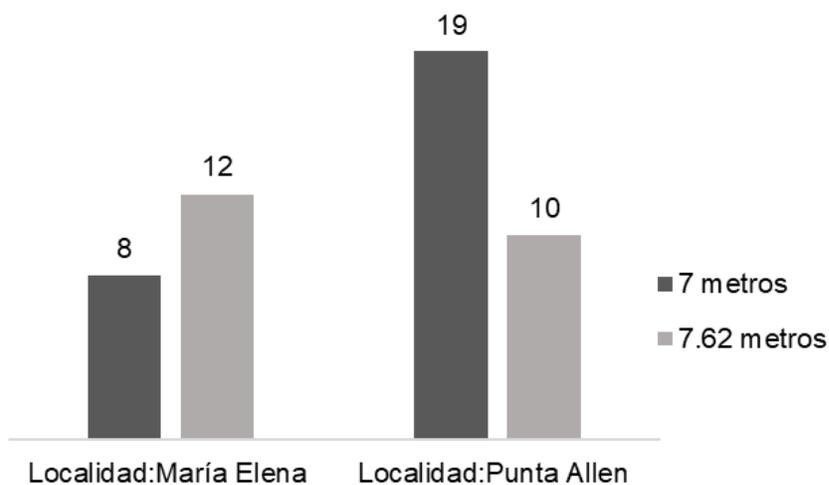
**Fig. 13.** Frecuencia absoluta por localidad según el tamaño del motor.

La longitud de la embarcación que utilizan en la localidad de Punta Allen; 19 participantes (65.52%) respondieron siete metros y 10 (34.48%) 7.62 metros. En María Elena; ocho participantes (40%) siete metros y 12 (60%) 7.62 metros (Tab. 18 y Fig. 14).

RESULTADOS

Tabla 18. Longitud de la embarcación respondida por los participantes de cada localidad.

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Longitud de la embarcación: 7 metros	8	40.00%	19	65.52%	27
Longitud de la embarcación: 7.62 metros	12	60.00%	10	34.48%	22
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

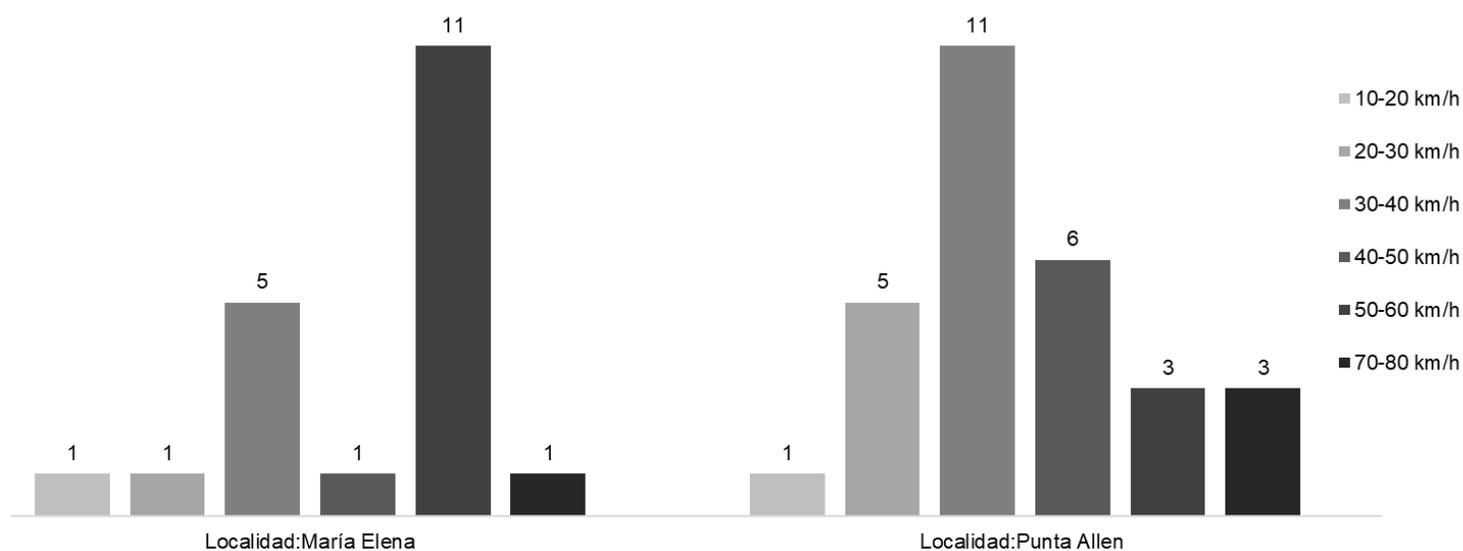
**Fig. 14.** Frecuencia absoluta por localidad según la longitud de la embarcación.

La velocidad a la que transitan las embarcaciones durante sus recorridos en la localidad de Punta Allen; un participante (3.45%) respondió de 10-20 km/h, cinco (17.24%) de 20-30 km/h, 11 (37.93%) 30-40 km/h, seis (20.69%) 40-50 km/h, tres (10.35%) 50-60 km/h y tres (10.35%) 70-80 km/h. En María Elena, un participante (5%) respondió 10-20 km/h, otro (5%) 20-30 km/h, cinco (25 %) 30-40 km/h, uno (5 %) 40-50 km/h, 11 (55%) 50-60 km/h, uno (5%) 70-80 km/h (Tab. 19 y Fig. 15).

RESULTADOS

Tabla 19. Velocidad de la embarcación respondida por los participantes de cada localidad.

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Velocidad a la que transita: 10-20 km/h	1	5.00%	1	3.45%	2
20-30 km/h	1	5.00%	5	17.24%	6
30-40 km/h	5	25.00%	11	37.93%	16
40-50 km/h	1	5.00%	6	20.69%	7
50-60 km/h	11	55.00%	3	10.35%	14
60-70 km/h	0	0.00%	0	0.00%	0
70-80 km/h	1	5.00%	3	10.35%	4
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

**Fig. 15.** Frecuencia absoluta por localidad según la velocidad de tránsito de la embarcación.

RESULTADOS

En cuanto al conocimiento local del manatí, los lugares de observación o presencia de la especie en la localidad de Punta Allen; 11 participantes (37.93%) respondieron en la Bahía Ascensión y en el área de las Lagunas y 18 (62.07%) desde el área de las Lagunas hasta Punta Allen. En María Elena, cuatro participantes (20%) respondieron que en el fondo de la Bahía Espíritu Santo y 16 (80%) desde Punta Herrero y la zona arrecifal (Tab. 20 y Fig. 16).

Tabla 20. Sitios de presencia del manatí respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: *¿En qué sitios ha observado al manatí?*

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
<i>Lugares de observación del manatí: Bahía Ascensión y Lagunas</i>	0	0.00%	11	37.93%	11
<i>Lugares de observación del manatí: Fondo de la Bahía Espíritu Santo</i>	4	20.00%	0	0.00%	4
<i>Lugares de observación del manatí: Lagunas y Punta Allen</i>	0	0.00%	18	62.07%	18
<i>Lugares de observación del manatí: Punta Herrero y Arrecife</i>	16	80.00%	0	0.00%	16
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

RESULTADOS

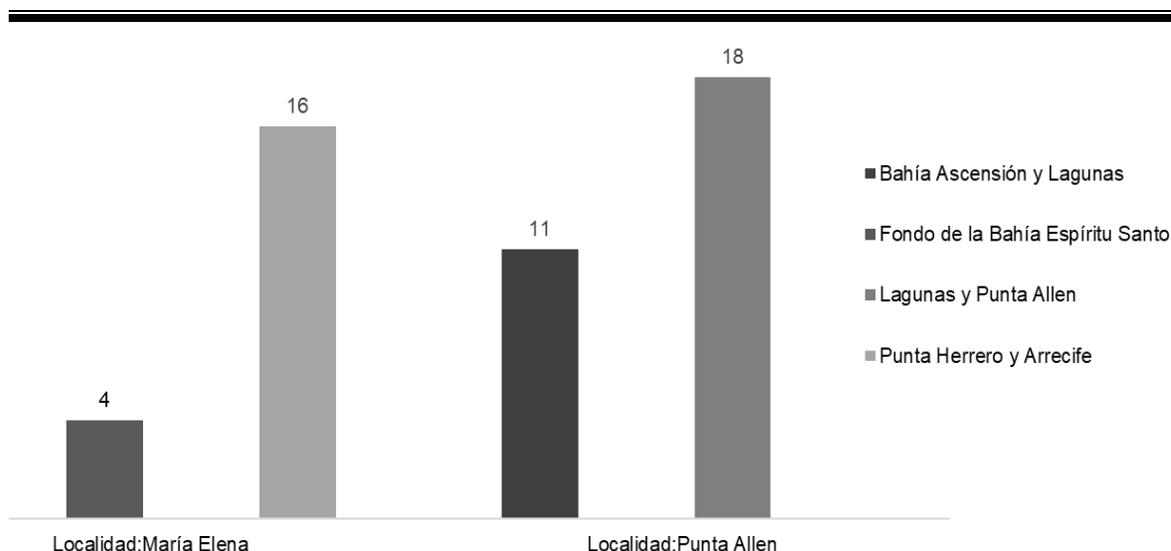


Fig. 16. Frecuencia absoluta por localidad según los sitios de presencia del manatí.

La importancia que representa esta especie en la localidad de Punta Allen; 19 participantes (65.52%) respondieron importancia ecológica o ambiental y 10 (34.48%) ecológica y turística. En María Elena, los 20 participantes (100%) respondieron importancia ecológica o ambiental (Tab. 21 y Fig. 17).

Tabla 21. Percepción sobre la importancia del manatí respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: *¿Qué importancia representa para usted el manatí?*

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Percepción/Importancia del manatí: Ecológica o Ambiental	20	100.00%	19	65.52%	39
Percepción/Importancia del manatí: Ecológica y Turística	0	0.00%	10	34.48%	10
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

RESULTADOS

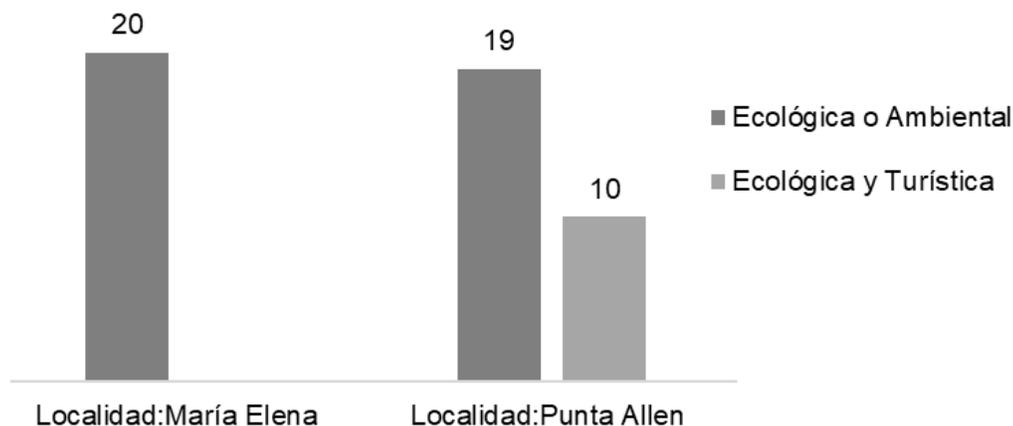


Fig. 17. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción de la importancia que representa el manatí.

La cantidad de individuos o manatíes observados por pescadores y prestadores de servicio turístico durante sus recorridos en la localidad de Punta Allen; 12 participantes (41.38%) respondieron >10 manatíes, uno (3.45%) un manatí, nueve (31.03%) 2-4, siete (24.14%) 5-8. En María Elena, tres participantes (15%) respondieron >10 manatíes, tres (15%) un manatí, 10 (50%) 2-4, cuatro (20%) 5-8 (Tab. 22 y Fig. 18).

Tabla 22. Cantidad de manatíes respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Cuántos manatíes ha observado durante sus recorridos?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Cantidad de manatíes observados: >10	3	15.00%	12	41.38%	15
Cantidad de manatíes observados: 1	3	15.00%	1	3.45%	4
Cantidad de manatíes observados: 2 a 4	10	50.00%	9	31.03%	19

RESULTADOS

Cantidad de manatíes observados: 5 a 8	4	20.00%	7	24.14%	11
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

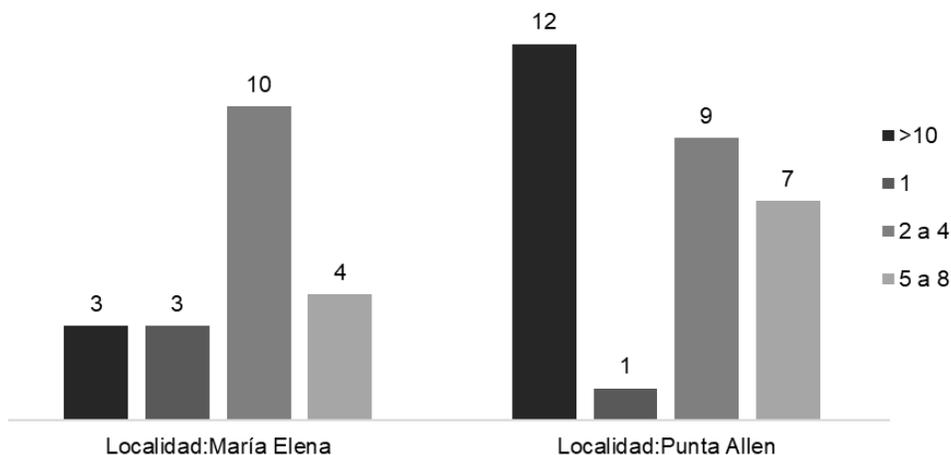


Fig. 18. Frecuencia absoluta por localidad según el número de manatíes avistados.

De acuerdo con los lugares de registro de colisión por embarcación en la localidad de Punta Allen; nueve participantes (31.03%) respondieron Laguna Boca Paila, siete (24.14%) en el Playón y 13 (44.83%) desconocen algún registro. En María Elena, los 20 participantes (100%) desconocen algún registro (Tab. 23 y Fig. 19).

Tabla 23. Lugar de registro de colisión por embarcación respondida por los participantes de cada localidad.

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Registro de colisión por embarcación/ Lugar: Laguna Boca Paila	0	0.00%	9	31.03%	9
Registro de colisión por embarcación/ Lugar: Playón	0	0.00%	7	24.14%	7

RESULTADOS

Registro de colisión por embarcación/ Lugar sin registro	20	100.00%	13	44.83%	33
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

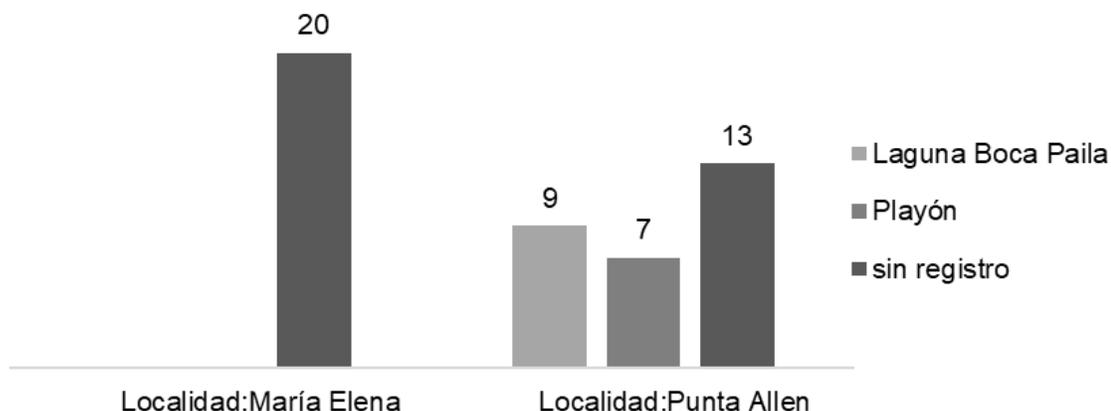


Fig. 19. Frecuencia absoluta por localidad según el lugar de registro de colisión por embarcación.

El número de casos de muerte de manatí por colisión con embarcación en la localidad de Punta Allen; 10 participantes (34.48%) desconocen casos, 12 (41.38%) conocen un caso, dos (6.90%) conocen dos casos y cinco (17.24%) conocen 3-5 casos. En María Elena, los 20 participantes (100%) desconocen casos al respecto (Tab. 24 y Fig. 20).

Tabla 24. Número de casos de colisión por embarcación respondida por los participantes de cada localidad.

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Registro de colisión por embarcación/ Número de casos: 0	20	100.00%	10	34.48%	30
Número de casos: 1	0	0.00%	12	41.38%	12

RESULTADOS

Número de casos: 2	0	0.00%	2	6.90%	2
Número de casos: 3 a 5	0	0.00%	5	17.24%	5
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

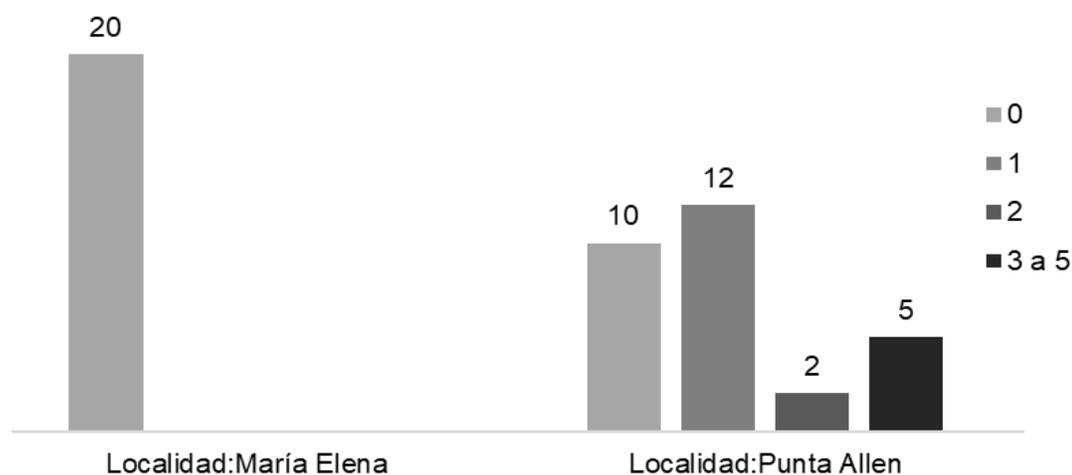


Fig. 20. Frecuencia absoluta por localidad según el número de casos de colisión por embarcación.

La percepción de la frecuencia de estos casos en la localidad de Punta Allen; tres participantes (10.35%) respondieron no saber y 26 (89.65%) con poca frecuencia. En María Elena, los 20 participantes (100%) respondieron que poco frecuente (Tab. 25 y Fig. 21).

Tabla 25. Percepción sobre la frecuencia de los casos respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Qué tan frecuente son los accidentes de colisión por embarcación hacia el manatí?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Percepción-Frecuencia de casos: NS	0	0.00%	3	10.35%	3

RESULTADOS

Percepción-Frecuencia de casos: Poco frecuente	20	100.00%	26	89.65%	46
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

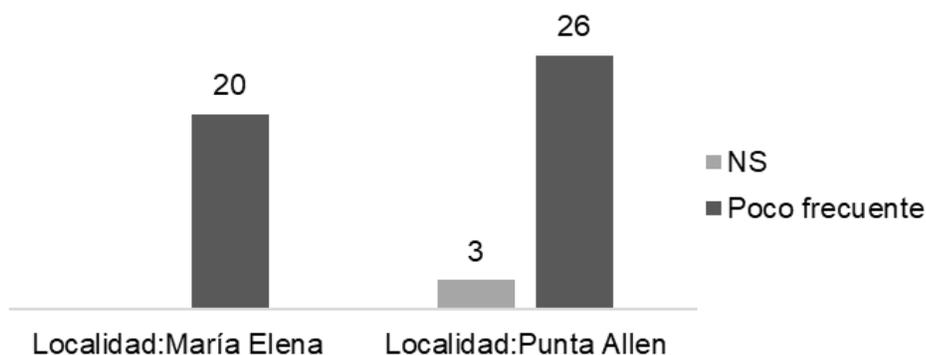


Fig. 21. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción de la frecuencia de los casos de colisión por embarcación.

La medida en la que se considera que estos casos de colisión afectan o tengan consecuencia en la población de manatíes en la localidad de Punta Allen; 13 participantes (44.83%) respondieron que, en alta medida, 14 (48.28%) en baja medida y dos (6.90%) en moderada medida. En María Elena, un participante (5%) respondió que, en alta medida, 17 (85%) en baja medida y dos (10%) en moderada medida (Tab. 26 y Fig. 22).

Tabla 26. Percepción sobre la afectación de los casos en la población del manatí respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿En qué medida considera que las colisiones por embarcación afectan a la población de manatíes?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Percepción-Consecuencia o afectación: En Alta medida	1	5.00%	13	44.83%	14

RESULTADOS

Percepción-Consecuencia o afectación: En Baja medida	17	85.00%	14	48.28%	31
Percepción-Consecuencia o afectación: En Moderada medida	2	10.00%	2	6.90%	4
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

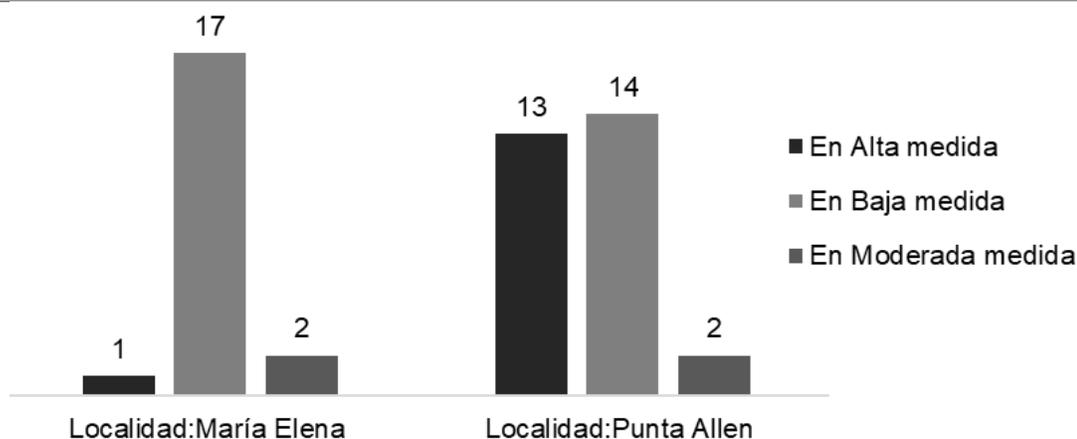


Fig. 22. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción de la afectación de las colisiones en la población de manatí.

El riesgo tráfico de embarcaciones en la localidad de Punta Allen; 17 participantes (58.62%) respondieron que no y 12 (41.38%) que sí. En María Elena, los 20 participantes (100%) respondieron que no (Tab. 27 y Fig. 23).

Tabla 27. Percepción sobre el riesgo de colisión por tráfico de embarcaciones respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Considera que las embarcaciones que transitan en la RBSK representan algún tipo de riesgo para el manatí?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Tráfico de embarcaciones como riesgo:	20	100.00%	17	58.62%	37

RESULTADOS

No					
Tráfico de embarcaciones como riesgo:	0	0.00%	12	41.38%	12
Si					
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

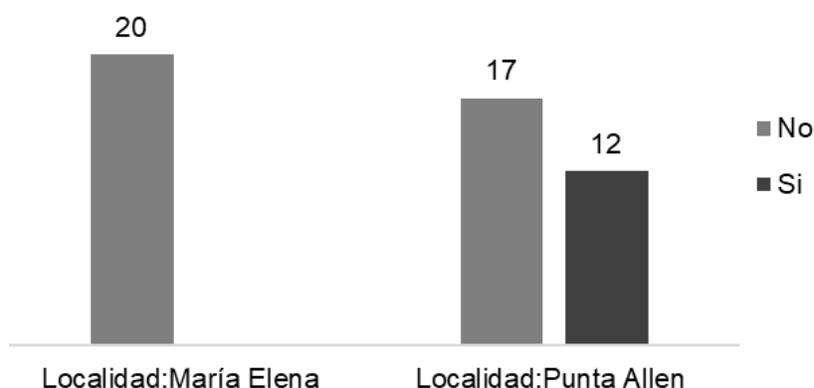


Fig. 23. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción sobre el riesgo de colisión por tráfico de embarcaciones.

El riesgo de colisión por la velocidad de la embarcación en la localidad de Punta Allen; ocho participantes (27.59%) respondieron que no y 21 (72.41%) consideran que sí es un riesgo. En María Elena, 10 participantes (50%) respondieron que no y 10 (50%) consideran que sí es un riesgo (Tab. 28 y Fig. 24).

Tabla 28. Percepción sobre el riesgo de colisión por la velocidad de la embarcación respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Considera que la velocidad de la embarcación es un factor potencial como riesgo de colisión?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Velocidad como factor de riesgo: No	10	50.00%	8	27.59%	18

RESULTADOS

Velocidad como factor de riesgo: Si	10	50.00%	21	72.41%	31
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

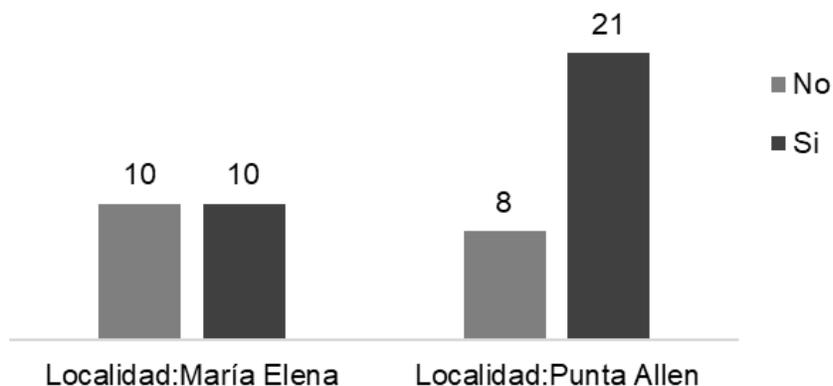


Fig. 24. Frecuencia absoluta por localidad según la percepción sobre el riesgo de colisión por la velocidad de la embarcación.

Respecto a el conocimiento legal de navegación en la localidad de Punta Allen y María Elena; los 29 y 20 participantes (100%) respectivamente, respondieron tener conocimiento del reglamento de la ley de navegación y comercio marítimos (Tab. 29 y Fig. 25).

Tabla 29. Conocimiento legal respondida por los participantes de cada localidad a la pregunta: ¿Tiene usted conocimiento del Reglamento de la ley de navegación y comercio marítimos?

	Localidad: María Elena		Localidad: Punta Allen		Totales
	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta
Conocimiento legal: Si	20	100.00%	29	100.00%	49
Totales	20	100.00%	29	100.00%	49

RESULTADOS

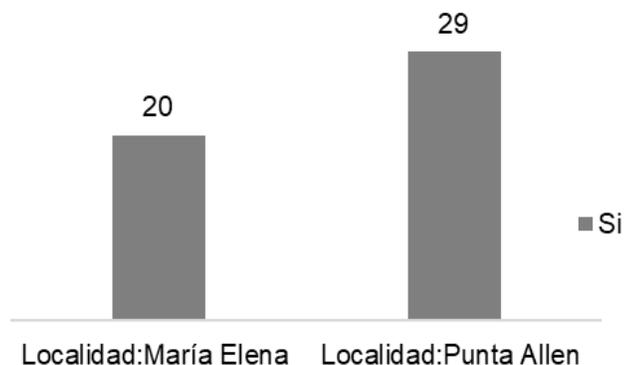


Fig. 25. Frecuencia absoluta por localidad según el conocimiento legal de navegación.

La sección de comentarios personales de la encuesta se capturó de la siguiente manera:

Tabla 30. Subcódigos y comentarios personales de las encuestas del análisis en ATLAS.ti

Subcódigo	Comentario personal
Conocimiento de normas legales.	<ul style="list-style-type: none"> • "Motores >100 HP no se permiten en la RBSK" • "Por la pandemia se permiten ahora tours de cuatro a cinco personas por embarcación, más de seis personas no" • "Se permite transitar a 10 km/h dentro de la Laguna Boca Paila" • "Seguimos el protocolo de las autoridades"
Conservación y conciencia ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> • "En este lugar tratamos de cuidar a las especies en observación" • "Trato de ser un guía que cumple con las leyes para poder hacer turismo y pesca sustentables" • "Es importante seguir conservando al manatí" • "El sargazo afecta mucho al pasto marino por la luz solar yo creo que por eso no hemos observado mucho manatí aquí enfrente" • "El sargazo ha de afectar al manatí"
Experiencia con manatíes.	<ul style="list-style-type: none"> • "He nadado con los manatíes en el arrecife y observado manatíes frente al muelle" • "En varias ocasiones en la parte del arrecife me encontré con una familia de manatíes y pude acercarme a ellos" • "En Abril me ha tocado observar más manatí, he observado por el encierro de langosta y por Chan Cozumel 3 manatíes en el canal" • "Solo una vez llegué a observar como un grupo de 50 manatíes en la Bahía"

RESULTADOS

	<ul style="list-style-type: none"> • "He visto manatíes saliendo y entrando a la Bahía Espíritu Santo" • "En Octubre vi 5 manatíes atrás del arrecife"
Participación y gestión.	<ul style="list-style-type: none"> • "Proponer tránsito de embarcaciones en zonas seguras o delimitadas"
Retroalimentación y expectativas.	<ul style="list-style-type: none"> • "Mostrar el mapa o resultados finales de la investigación y dar retroalimentación" • "Se considera importante hacer reunión con todos los capitanes para que se conozca la importancia del manatí y los delfines con fines de conservación"

Colecta directa e indirecta de rutas de las embarcaciones.

Durante la encuesta se les proporcionó un mapa breve para que describieran y trazaran las rutas habituales de trabajo (Figs. 26 y 27).

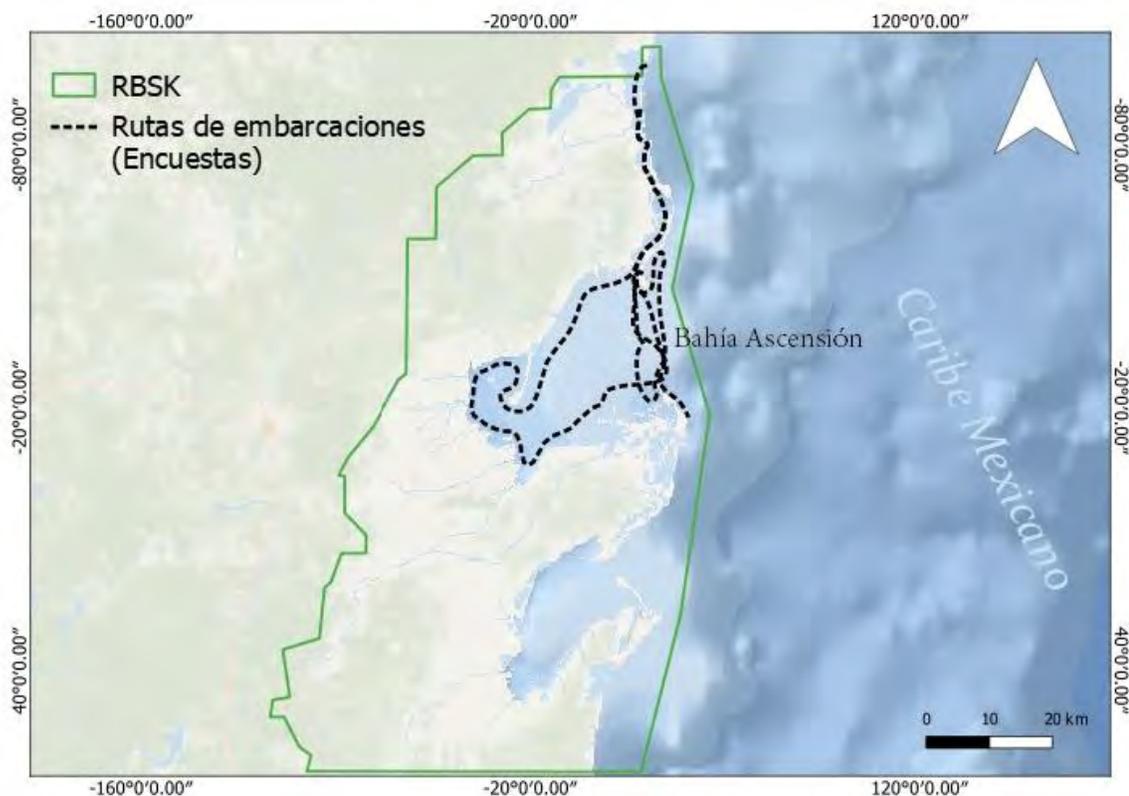


Fig. 26. Rutas de las embarcaciones en Bahía Ascensión obtenidas por los participantes.

RESULTADOS

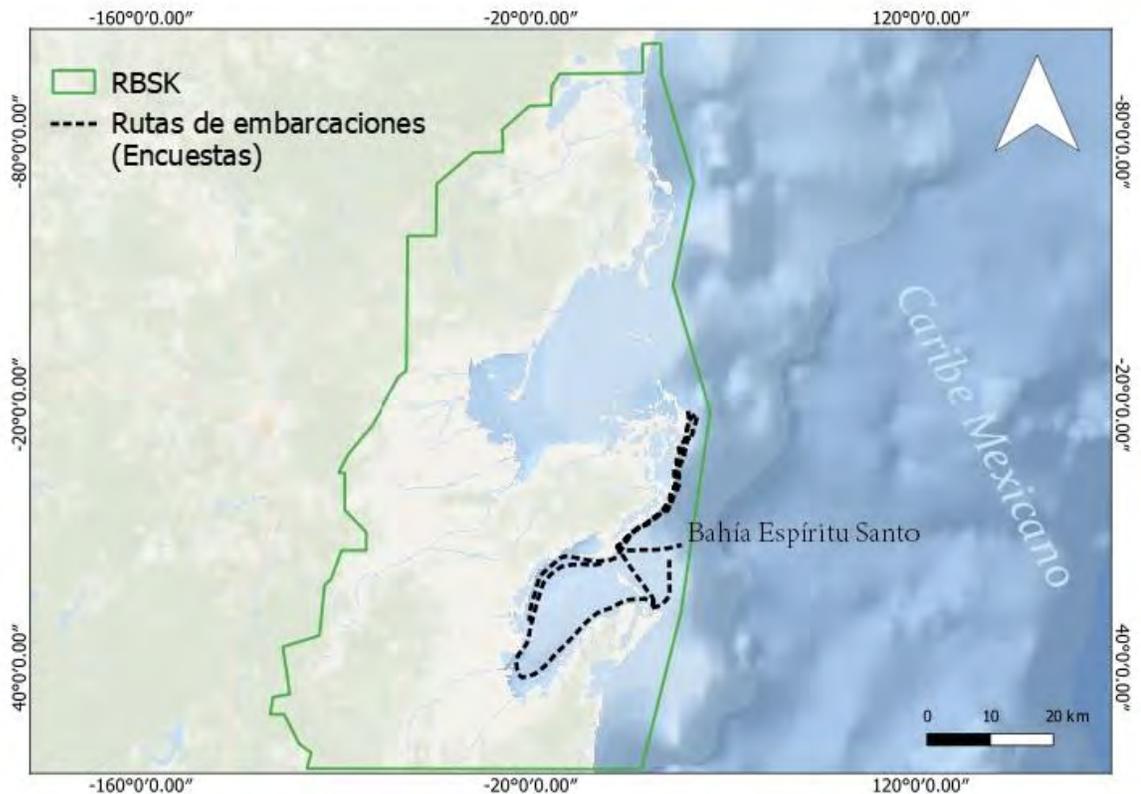


Fig. 27. Rutas de las embarcaciones en Bahía Espíritu Santo obtenidas por los participantes.

Las rutas colectadas directamente se registraron con GPS (Garmin Etrex 20) a bordo de una embarcación de siete metros de longitud con motor de 60 HP, en la Bahía Ascensión, en el área de las lagunas y en la Bahía Espíritu Santo, y en ocasiones mediante los mismos navegantes que transitan en el área. Estas observaciones fueron necesarias para recopilar datos sobre la ruta y dirección de las embarcaciones.

Se registraron cinco rutas en total, una corresponde a pesca de langosta de la Cooperativa Pesquera Vigía Chico y dos a actividad turística de la Cooperativa Turística Punta Allen y Tour Caapechén, esta última ofrece recorridos para observar manatí en la Laguna Caapechén (Fig. 28). Dos rutas pesqueras corresponden a la Cooperativa Pesquera de Cozumel y una ruta a un recorrido para avistamiento de manatí (Fig. 29).

RESULTADOS

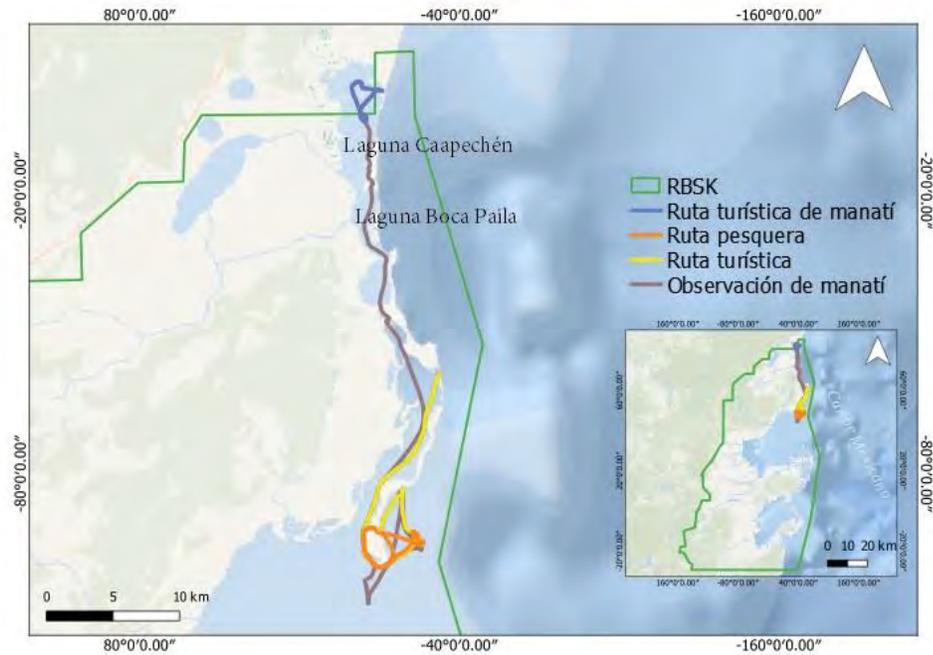


Fig. 28. Rutas registradas directamente de la actividad turística y pesquera en la porción de Lagunas de la RBSK.

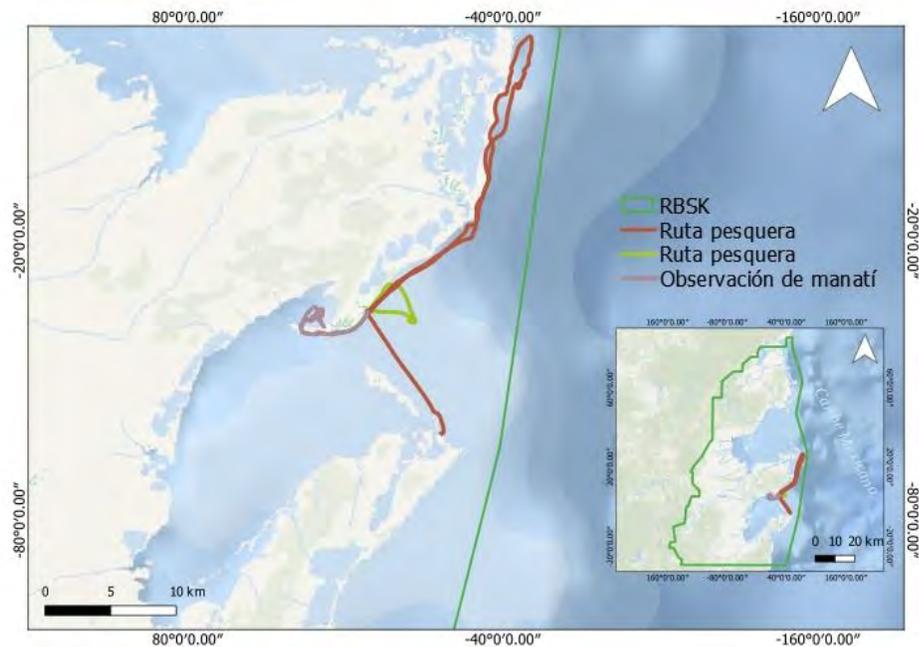


Fig. 29. Rutas registradas directamente de la actividad pesquera en la Bahía Espíritu Santo.

10.2. MODELO DE NICHO ECOLÓGICO.

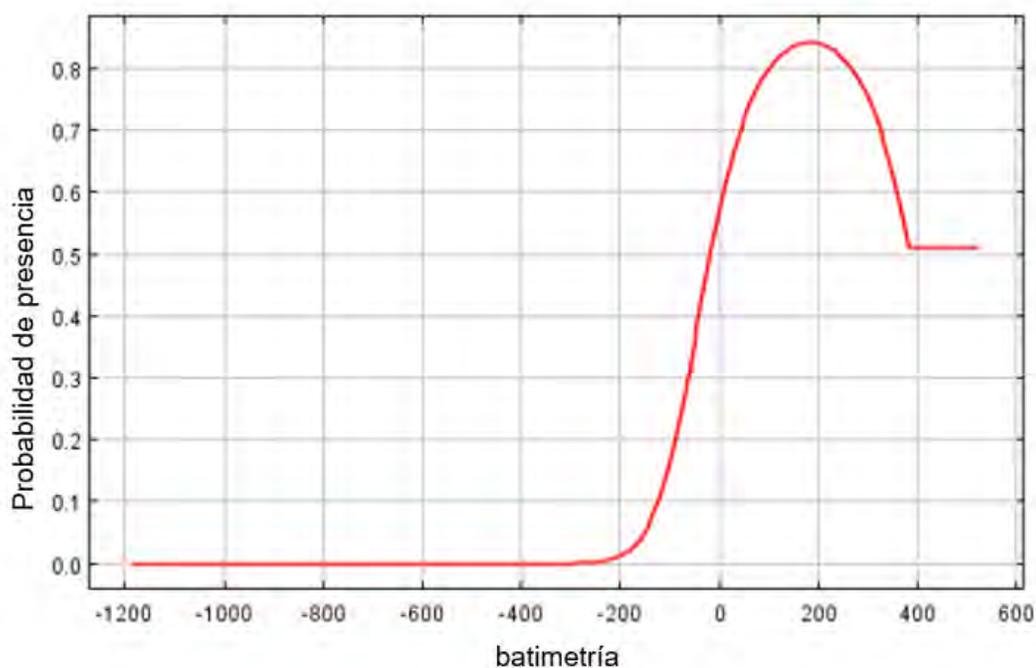
Para predecir la idoneidad del hábitat en ambas bahías de la RBSK se utilizó el software de modelado Maxent (versión 3.4.4). Se usaron solo datos de presencia para la relación estadística entre las variables ambientales (salinidad, temperatura y batimetría) predictoras en los sitios donde se ha avistado al manatí.

De acuerdo con el análisis de contribución de las variables ambientales realizado por el modelo, la batimetría obtuvo una mayor contribución a la construcción del modelo con el 85%, seguido de la salinidad con un 14.6% y la temperatura de 0% (Tab. 31).

Tabla 31. Contribución porcentual de las variables ambientales usadas en el modelo Maxent.

Variable	Contribución porcentual
Batimetría	85.4
Salinidad	14.6
Temperatura	0

También se muestran las curvas de respuesta para cada variable y como afecta a la probabilidad de presencia del manatí (Fig. 30).



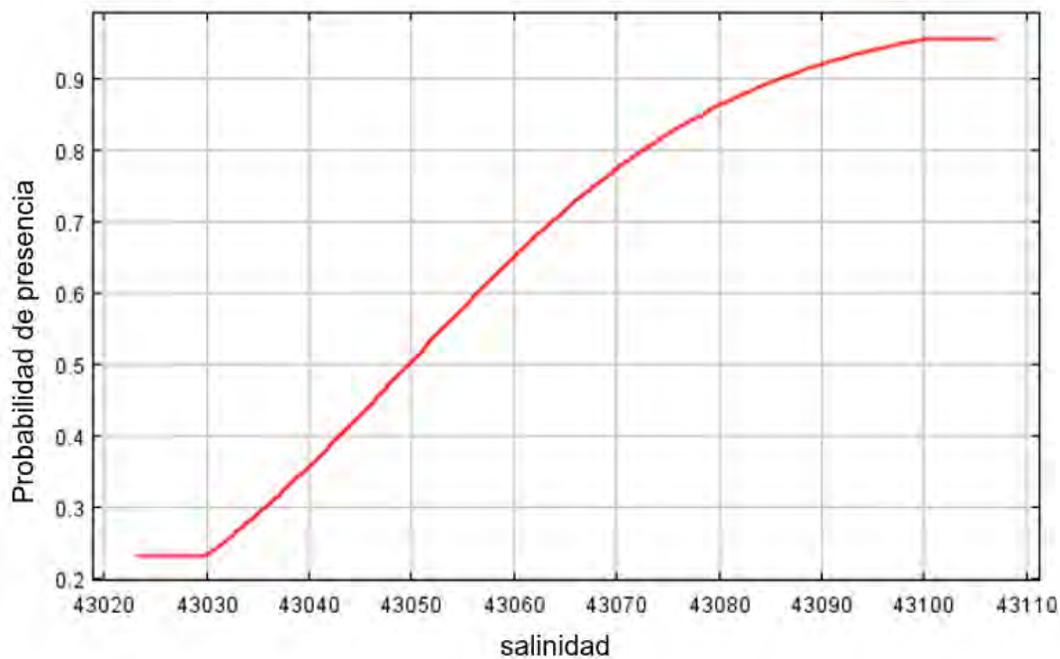


Fig. 30. Curva respuesta del manatí para batimetría y salinidad.

Los resultados del modelo Maxent muestran en un mapa con la misma resolución espacial de las variables ambientales las probabilidades de presencia del manatí en ambas bahías (Fig. 31). Para la Bahía Ascensión se pueden observar valores de mayor probabilidad (>0.55) en la parte norte de la bahía, en el área de las lagunas, zona este y oeste de Punta Allen, una porción de Vigía Grande. Valores de probabilidad ($0.40-0.55$) se observan en la parte interna de la bahía, zona noreste, costa sur. Valores bajos de probabilidad (<0.40) se observan en la porción sureste de la bahía (Hualastoc y Punta Pájaros).

Para la Bahía Espíritu Santo se puede observar valores de mayor probabilidad (>0.55) en una pequeña porción de la costa oeste en la parte interna de la bahía. En el resto de la zona se muestran algunos valores de probabilidad ($0.40-0.55$) en la costa sur de la bahía. Valores bajos de probabilidad (<0.40) se muestran en la parte interna, zona norte y este de la bahía.

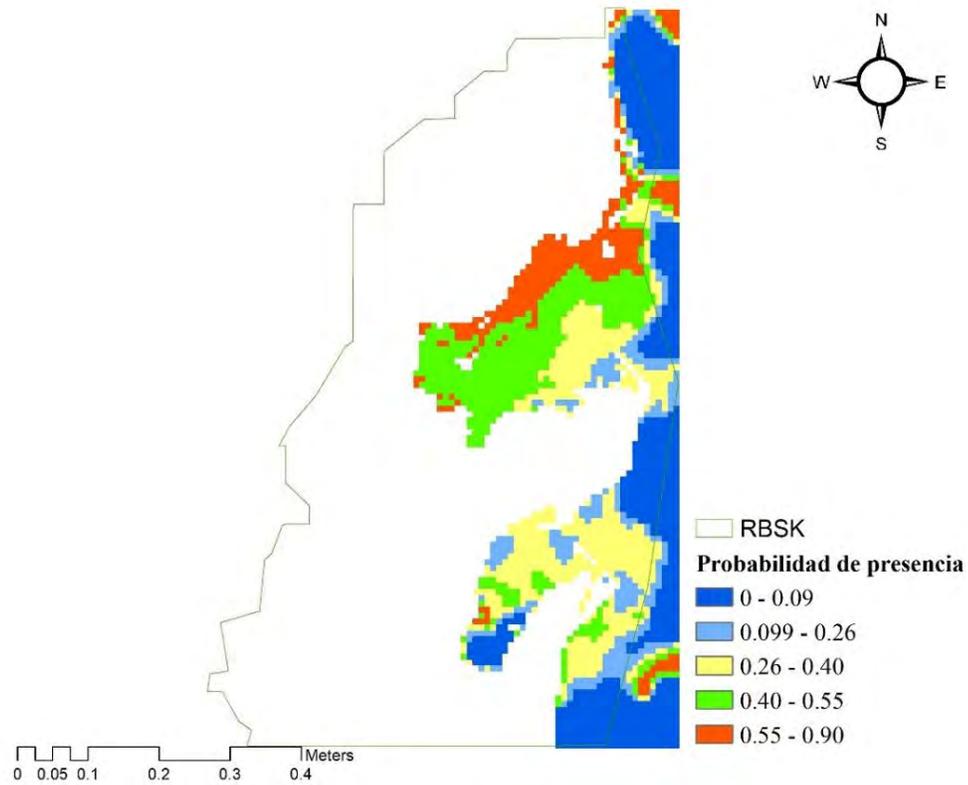


Fig. 31. Áreas con probabilidad de ocurrencia del manatí en la RBSK creado por el modelo Maxent.

El desempeño del modelo mostró un valor de $AUC=0.82$ para los datos de entrenamiento como se puede observar en la curva ROC (Fig. 32).

RESULTADOS

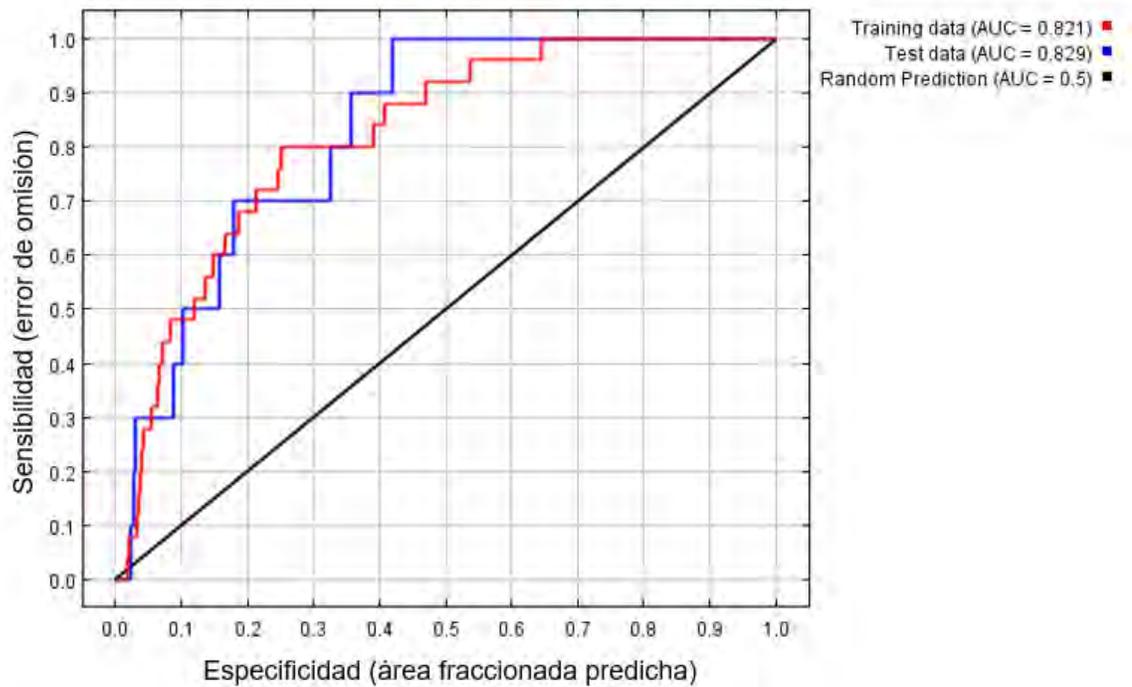


Fig. 32. Curva ROC generada por el modelo de predicción de Maxent.

10.3. MODELO DE RIESGO

El modelo de riesgo de colisión generó un mapa para visualizar las estimaciones del riesgo de colisión con embarcaciones en ambas bahías que conforman la RBSK (Fig. 33). Los resultados identifican factores de riesgo como el tipo de actividad marítima en cada subregión. El tipo de actividad marítima (pesquera y turística) se ponderó de acuerdo con los criterios de exposición y consecuencia de cada uno.

RESULTADOS

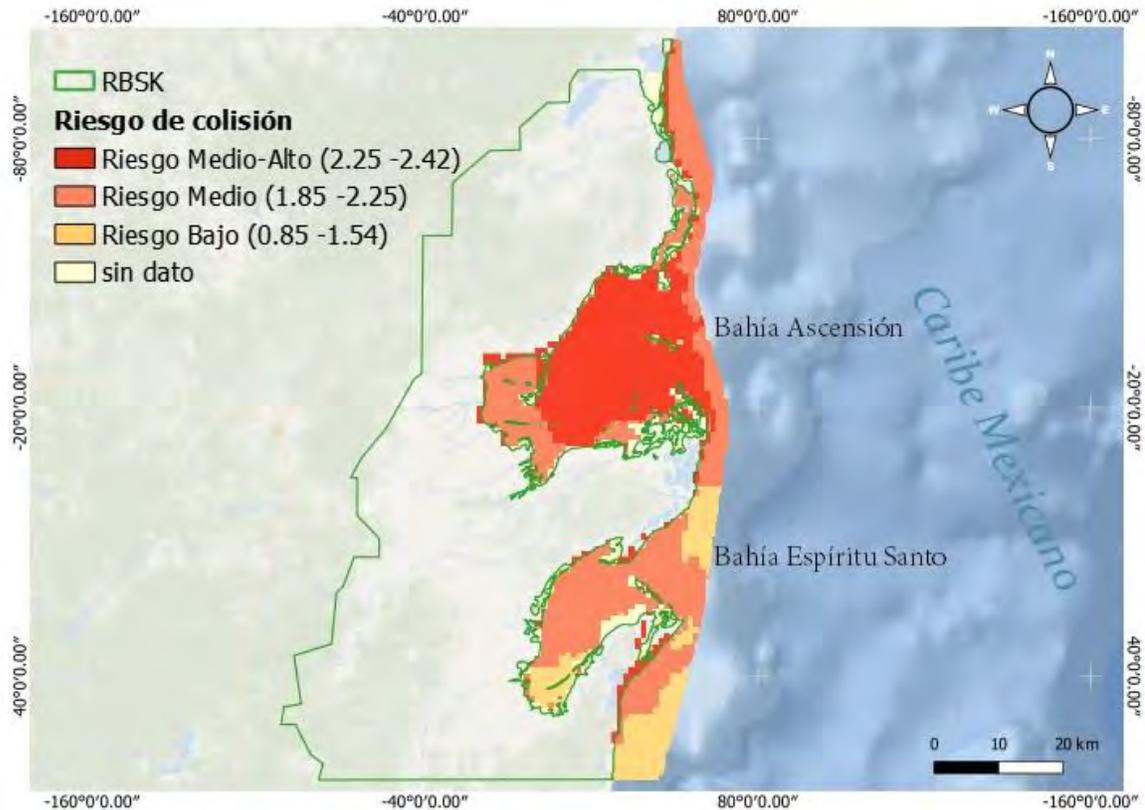


Fig. 33. Mapa de riesgo de colisión con embarcaciones para manatí en la RBSK.

La gráfica resultante del modelo (Fig. 34) indica donde hay más riesgo cuando existe la interacción de hábitat de la especie-actividad (estresor). Esta información incluye la actividad o estresor para la Bahía Ascensión, Bahía Espíritu Santo, área idónea para la especie (manatí) y cobertura de pasto marino, estas dos últimas áreas son de alta probabilidad de ocurrencia de manatí (siendo consideradas de mayor idoneidad para la especie). El riesgo de colisión con embarcaciones estimado representado en la gráfica, muestra un riesgo mayor conforme aumenta la exposición (eje x) y consecuencia (eje y) según sea la interacción del estresor (tipo de actividad marítima) y hábitat de la especie.

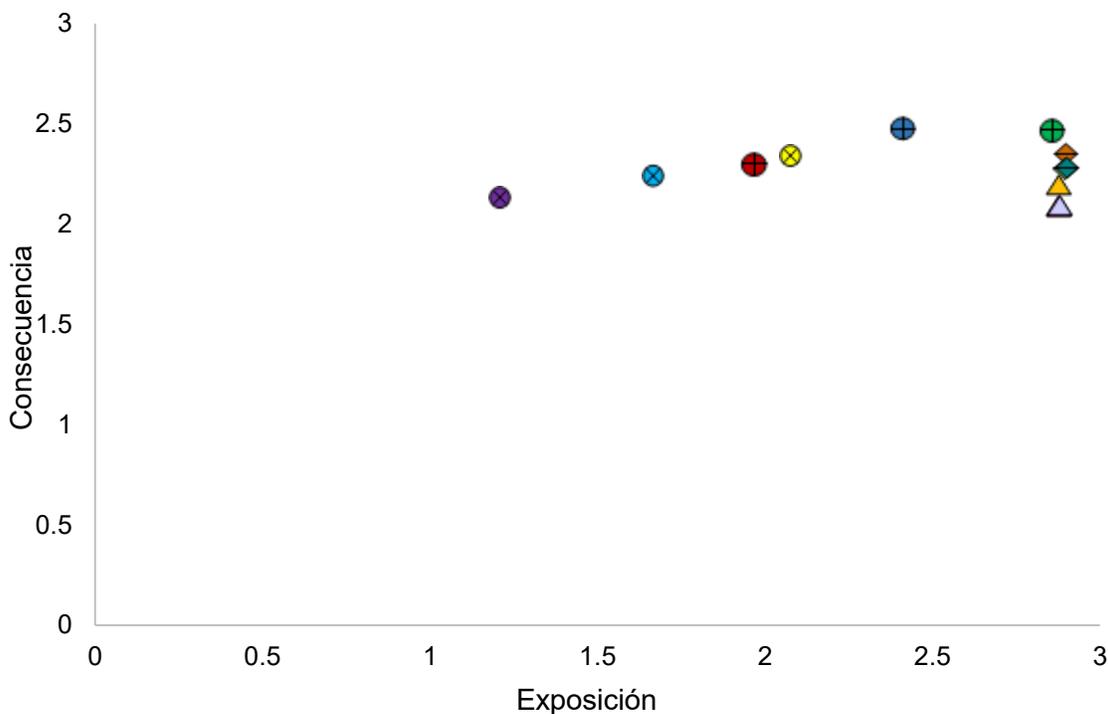


Fig. 34. Gráfica de las puntuaciones de consecuencia y exposición para cada hábitat-estresor.

⊗ Bahía Espiritu Santo (B.E), ⊙ = B.E_ actividad turística, ⊗ = B.E_ ambos estresores, ⊗ = B.E_act pesquera, ⊕ Bahía Ascensión (B.A), ⊕ = B.A_act pesquera, ⊕ = B.A_ ambos estresores, ⊕ = B.A_act turística, ⊖ = Pasto marino (P.m), ⊖ = P.m_ ambos estresores, ⊖ = P.m_act pesquera, ⊖ = P.m_act turística, △ = Manatí, △ = Manatí_ ambos estresores, △ = Manatí_act pesquera, △ = Manatí_act turística.

En la subregión Bahía Espiritu Santo de la RBSK la interacción con la actividad turística fue determinada numéricamente como riesgo bajo (1.21 para exposición y 2.12 para consecuencia), la interacción con la actividad pesquera como riesgo bajo-medio (2.08 para exposición y 2.33 para consecuencia), para ambas interacciones o estresores se determinó como riesgo bajo (1.67 para exposición y 2.23 para consecuencia). En la subregión Bahía Ascensión, la interacción con la actividad pesquera fue determinada numéricamente como riesgo bajo-medio (1.97 para exposición y 2.30 para consecuencia), la interacción con la actividad turística como riesgo medio-alto (2.86 para exposición y 2.47 para consecuencia), para ambas interacciones o estresores como riesgo medio (2.41 para exposición y 2.48 para consecuencia).

RESULTADOS

En la cobertura de pasto marino, la interacción con la actividad turística fue determinada numéricamente como riesgo medio (2.90 para exposición y 2.28 para consecuencia), la interacción con la actividad pesquera como riesgo medio (2.90 para exposición y 2.27 para consecuencia), para ambas interacciones o estresores como riesgo medio (2.90 para exposición y 2.35 para consecuencia). En la cobertura de idoneidad del hábitat para manatí, la interacción con la actividad pesquera y actividad turística fue determinada numéricamente como riesgo medio (2.88 para exposición y 2.10 para consecuencia), para ambas interacciones o estresores como riesgo medio (2.88 para exposición y 2.20 para consecuencia).

11. DISCUSIÓN

En esta investigación, se desarrolló una primera evaluación espacialmente explícita para el riesgo de colisión con embarcaciones en dos áreas importantes de la RBSK en el Caribe Mexicano para el manatí americano. Con una extensión de 1,531.92 km² de superficie marina, incluyendo zonas oceánicas someras y arrecifes coralinos, fue posible analizar el 23.5% del área de estudio. El 11.5% del área que corresponde a la subregión de Bahía Ascensión se identificó como zona de riesgo medio-alto de colisión para el manatí con aproximadamente 750.35 km². Es importante mencionar que, el área que conforma las lagunas solo 26.01 km² (0.40%) se identificó como zona de riesgo medio-alto de colisión. Por otra parte, en la subregión de Bahía Espíritu Santo el 5.48% del área se identificó como riesgo medio de colisión para el manatí con aproximadamente 357.1 km². Dentro de estas subregiones, la puntuación de exposición fue más alta en el área o cobertura de pasto marino seguido del área de idoneidad del hábitat del manatí para ambos estresores. A partir de este análisis espacialmente explícito, se encontraron ciertos patrones de riesgo de colisión en la Bahía Ascensión donde se determina una mayor exposición (intensidad y superposición temporal) por actividad turística y en la Bahía Espíritu Santo una mayor exposición (intensidad y superposición temporal) por actividad pesquera. Esta información fue incorporada gracias a las encuestas aplicadas a pescadores y prestadores de servicio turístico, así como las rutas de las embarcaciones colectadas directa e indirectamente.

Como se puede mostrar en el sitio de la RBSK, es probable que el riesgo de colisión cambie espacialmente, es decir, dentro de cada subregión. Esta variación del riesgo se debe a la intensidad y superposición temporal de la actividad marítima en cada subregión. A pesar de los datos recopilados indirectamente de la actividad marítima y la distribución del manatí; las áreas de idoneidad del hábitat para manatí y la cobertura de pasto marino en las subregiones (Bahía Ascensión y Espíritu Santo) representan el nivel más alto de riesgo de colisión en todo el sitio de Sian Ka'an. Por lo tanto, es evidente que es necesario identificar zonas más específicas de mayor probabilidad de interacción entre manatí y embarcación, como áreas preferentes para un mayor alcance y recopilación de datos. Dado que el análisis de Maxent identificó la batimetría como la variable más importante para el manatí, existe una estimación más alta de riesgo de colisión en el área predicha para la especie.

DISCUSIÓN

Las variables como batimetría (profundidad), presencia de pasto marino, distancia a fuentes de agua dulce y salinidad son de gran importancia para predecir la distribución y uso de hábitat del manatí (Olivera-Gómez y Mellink, 2005; Jiménez, 2005; LaCommare *et al.*, 2008; Landero-Figueroa, 2010; Bauduin *et al.*, 2013; Landero *et al.*, 2014; Ramírez-Jiménez *et al.*, 2017; Castelblanco-Martínez, *et al.*, 2018; Corona-Figueroa, 2019; Favero *et al.*, 2020; de Souza *et al.*, 2021). En estudios anteriores se ha observado una influencia de la batimetría en la distribución del manatí (Axis-Arroyo *et al.*, 1998; Jiménez, 2005; Olivera-Gómez y Mellink, 2005).

De manera similar Axis-Arroyo *et al.* (1998) han reportado una mayor influencia de las variables salinidad y profundidad (0.80-2m) en la distribución de *T. m. manatus* en la Bahía Chetumal y, una menor influencia de la variable temperatura del agua, ya que la temperatura logra mantenerse por encima de los 20° C. Olivera-Gómez y Mellink (2005) también reportan la profundidad como la variable con mayor influencia en la ocupación del manatí en la Bahía Chetumal.

Como se mencionó anteriormente, la variable con más importancia en este estudio fue la batimetría, sin embargo, en los datos obtenidos por Landero-Figueroa (2010) a partir del análisis Maxent muestra a la salinidad como la variable con mayor contribución (73%) para la probabilidad de presencia del manatí en la Bahía Ascensión, con mayor idoneidad en la parte interna de la bahía. Se ha confirmado que esta variable (salinidad) se encuentra relacionada a la presencia de fuentes de agua dulce debido a las descargas subterráneas de agua dulce en el sitio. También se identifica a *Thalassia testudinum* como vegetación acuática dominante en la Bahía Ascensión, presentando bajas densidades en la parte interna de la bahía debido a estas descargas de agua dulce (Landero-Figueroa, 2010).

Es importante mencionar que dentro de las limitaciones presentadas en este estudio para el modelo Maxent se halla que los datos de presencia u observaciones de manatí se encuentran más sesgados hacia el área de las Lagunas y Bahía Ascensión por el esfuerzo de monitoreo. Esto puede explicar por qué se muestran valores de probabilidad de presencia más altos en esa área en comparación con la Bahía Espíritu Santo. Otra limitación está en la resolución espacial de las variables ambientales pues pueden existir algunos vacíos de información o píxeles que no cubren con mayor resolución el área de estudio o algunas áreas importantes cercanas a la costa. Asimismo, la resolución de los datos puede influir en la extensión modelada del hábitat y, por lo tanto, tener implicaciones en la gestión espacial marina (Ross *et al.*, 2015). Una alta resolución de las variables

ambientales puede reducir la sobreestimación en cuanto a la idoneidad del hábitat (Rengstorf *et al.*, 2013).

Aunque ambas bahías de la RBSK ofrecen características similares en cuanto a disponibilidad de recursos (pasto marino y presencia de ojos de agua dulce) para el manatí, es importante identificar los sitios de descanso y forrajeo. Por tanto, esta fidelidad del sitio conlleva que el manatí pase más tiempo descansado y alimentándose, situándolos a una mayor exposición o riesgo de colisión (Gomes Borges *et al.*, 2007; Edwards *et al.*, 2016). Por ejemplo, en el área de las lagunas con influencia de agua subterránea, los manatíes se encuentran fuertemente asociados a la proximidad de ojos de agua dulce (N. Castelblanco, comunicación personal), igualmente observado en la parte interna de la Bahía Ascensión (Landeró *et al.*, 2014).

Los resultados de la evaluación del riesgo de colisión con enfoque en el modelo de evaluación del riesgo del hábitat (Habitat Risk Assessment (HRA)), demuestra ser una herramienta para construir y obtener información sobre la exposición al riesgo de colisión con datos limitados y a grande escala. La capacidad de usar datos limitados por parte del modelo permite identificar, en este caso, áreas en donde falten sumar esfuerzos de monitoreo para la especie, monitoreo del tráfico marítimo, áreas de mayor actividad marítima e incluso identificar áreas de bajo riesgo que no impliquen precisamente un esfuerzo de monitoreo.

No obstante, modelos de ocupación y abundancia para manatíes y embarcaciones, estimación de la tasa de encuentros., han demostrado estimar el riesgo de colisión en el manatí de Florida (*T. m. latirostris*) (Bauduin *et al.*, 2013; Martin *et al.*, 2016; Udell *et al.*, 2018). Evaluaciones de riesgo de colisión en cetáceos también han sido abordados mediante modelos de distribución de *Megaptera novaeangliae*, *Balaenoptera musculus*, *B. physalus*, *Orcinus orca*, *Stenella coeruleoalba*, *Tursiops truncatus* y distribución del tráfico marítimo (Williams y O'Hara, 2010; Redfern *et al.*, 2013; Pennino *et al.*, 2017; Smith *et al.*, 2020).

Si bien el enfoque presentado en esta investigación para el riesgo de colisión es nuevo en el modelo HRA. Estudios realizados con este modelo HRA han demostrado evaluar el riesgo de captura incidental para *Orcaella brevirostris* y *Dugong dugon*, mediante el modelado de idoneidad del hábitat y la actividad pesquera, identificando patrones de riesgo o áreas de alto riesgo a lo largo de la costa (Hines *et al.*, 2020; Verutes *et al.*, 2020).

DISCUSIÓN

Pese a que estos estudios usaron un enfoque diferente, se encuentran algunas pautas generales como que ocurre un mayor riesgo en áreas idóneas del hábitat predicho por Maxent para la especie, existe una variación espacial y temporal del riesgo en zonas costeras y un alto riesgo donde no se identifica alguna estrategia de gestión (Briscoe *et al.*, 2014; Hashim *et al.*, 2017; Hines *et al.*, 2020; Verutes *et al.*, 2020).

Es de suma importancia abordar esta información (riesgo de colisión) en el Caribe Mexicano y en otras partes del país con alta importancia turística y pesquera donde existen poblaciones importantes de mamíferos marinos (Díaz-Maestre *et al.*, 2020, 2021; Miranda-Torres, 2020; Rivera-Martínez, 2020). Bajo este contexto donde las poblaciones costeras tienen un sustento económico en actividades pesqueras y turísticas es necesario conocer las percepciones locales, ya que, Fernández (2008) afirma que las percepciones ambientales pueden influir en la toma de decisiones sobre el ambiente.

Los resultados obtenidos por las encuestas indican que el 80% de los participantes tiene una percepción hacia al manatí de importancia ecológica o ambiental, mientras que el otro 20% es de importancia ecológica y turística. El 94% menciona que los casos de colisión por embarcación hacia el manatí son poco frecuentes. Además, el 63% considera que las colisiones por embarcación afectan en baja medida a la población de manatíes. El 76% mencionó que el tráfico de embarcaciones no representa riesgo alguno para el manatí; sin embargo, el 63% tiene en cuenta que la velocidad de la embarcación puede ser un factor potencial de riesgo de colisión. Se encontraron algunas inconsistencias en cuanto a los reportes o casos conocidos de colisión por embarcaciones, ya que, Castelblanco (2018) mediante entrevistas aplicadas en Bahía Espíritu Santo, da a conocer un caso confirmado de muerte por colisión con embarcación. En tanto que, en las encuestas aplicadas en María Elena en este estudio, los participantes no confirmaron caso alguno. En Punta Allen, al igual que Castelblanco (2018) el 25% confirma conocer al menos un caso de colisión en la Laguna Boca Paila y el Playón como los sitios conocidos de registros de colisión.

Por los datos limitados existentes el sitio que mostró más escasez de datos fue la Bahía Espíritu Santo por lo que existe mayor incertidumbre en los datos. La información sobre la actividad turística fue colectada indirectamente solo por una encuesta aplicada oportunísticamente a un operador turístico. Dado el contexto de pandemia por SARS-CoV-2, la afluencia turística en esta zona no era la misma; sin embargo, la comunidad conformada en su mayoría por pescadores confirma que la actividad turística es ocasional durante todo el año y más bien las actividades productivas en Bahía Espíritu Santo, se

basan en la pesca comercial de recursos como la langosta espinosa y la escama (Sosa-Cordero *et al.*, 2008).

Debido a la escasez de recursos, falta de equipo o tecnología para trabajo de campo y el tiempo para poder realizar un mayor esfuerzo de monitoreo para el tráfico y distribución de embarcaciones, así como la colecta directa de velocidad de las embarcaciones, no se pudo capturar la interacción o tasa de encuentro de bote-manatí en toda el área de estudio. Con herramientas de trabajo o tecnología más eficientes se optimizaría la logística de campo para coleccionar datos de manera enriquecedora y en áreas menos exploradas. Para mejorar este tipo de estudios o evaluaciones de riesgo, se necesita doblar el esfuerzo humano teniendo más observadores que coleccionen información simultánea de la actividad marítima (embarcaciones) e información de manatí (Bauduin *et al.*, 2013).

No obstante, se logró obtener un primer patrón espacial de la actividad marítima en la RBSK con su intensidad y temporalidad previamente conocida por lo que se sugiere que existe una variación espacial en la exposición y consecuencia al riesgo de colisión con embarcaciones en cada bahía. Por el momento no se contó con más información que permitiera conocer la temporalidad del riesgo de colisión por cuestiones ajenas a este estudio, por ejemplo, la situación de la pandemia como ya se mencionó. Sin embargo, se sugiere que es necesario seguir evaluando como puede variar este riesgo temporalmente entre subregiones, en futuras investigaciones.

A pesar de la proporción de los datos en el sitio de la RBSK, es un claro ejemplo de que aún con los datos limitados, el modelo HRA se puede aplicar para investigar el riesgo de colisión con embarcaciones en áreas de grandes extensiones, se sugiere asignar zonas prioritarias para la conservación, en este caso para el manatí, en un hábitat impactado por la actividad humana.

Recomendaciones de manejo

Una de las principales medidas identificadas para reducir el riesgo de colisión en mamíferos marinos, es la regulación de la velocidad en embarcaciones (Laist y Shaw, 2006; Calleson y Frohlich, 2007; Chion *et al.*, 2018; Udell *et al.*, 2018; Panigada *et al.*, 2020).

Las zonas someras o de menor profundidad (1-4m) deben tener mayor consideración para evitar transitar, en caso de que no sea posible, se recomienda reducir la velocidad a 10 nudos (18.52 km/h). El área lagunar de la RBSK presenta algunos canales

DISCUSIÓN

estrechos de navegación, reducir la velocidad en esta área es importante pues existe un traslape de rutas o mayor tránsito de embarcaciones. Los señalamientos en zonas de menor profundidad (1-4 m) o zonas de alto riesgo de colisión podrían ser una medida complementaria.

Una restricción permanente de la velocidad en áreas específicas podría aplicarse, sin embargo, a medida que se disponga de más información sobre la variación temporal en la distribución del manatí y embarcaciones, se podría asignar una restricción de la velocidad por temporadas (por ejemplo, temporada alta de turismo).

La zona donde ocurrieron ambos casos de colisión letal hacia el manatí en la RBSK coincide con la zona de riesgo medio-alto predicho por el modelo de riesgo y con dirección de Bahía Ascensión hacia la entrada de las lagunas, se sospecha que el trayecto que realizan las embarcaciones de las lagunas hacia Bahía Ascensión es transitado a alta velocidad por lo que se recomienda tener precaución en esta zona.

Aunque se pueden identificar las rutas más usadas por los navegantes, el sugerir rutas alternas de menor riesgo de colisión puede acrecentar el riesgo para otras especies (delfines o tortugas marinas) en la RBSK (Redfern *et al.*, 2013; Pennino *et al.*, 2017).

Asimismo, la difusión de material e información pública es importante mediante la colaboración y presencia de las autoridades locales de la RBSK para las embarcaciones pesqueras y turísticas que operan de manera recreativa en un área determinada. Involucrar la participación de las partes interesadas para la colecta de datos como abundancia y densidad de embarcaciones y manatí, mediante monitoreos de manatí y el tráfico marítimo por temporadas es clave para enriquecer el modelo HRA de evaluación de riesgo del hábitat y poder incluir diferentes escenarios de manejo.

La organización y participación voluntaria para la conservación y la aprobación local de una gestión del riesgo han demostrado reducir el riesgo de colisión letal (Chion *et al.*, 2018). Es necesario reforzar y alentar esta participación en la RBSK, pues no se identifican organizaciones comunitarias para acciones de conservación del manatí, aunque sí con propósitos turísticos (Robles Herrejón *et al.*, 2020).

12. CONCLUSIONES

- Las áreas críticas para el manatí en función con la idoneidad del hábitat presentado en este estudio parecen indicar que las áreas de menor profundidad son las de mayor importancia, por lo tanto, esto puede influir en la proximidad de ojos de agua dulce usados por el manatí. El área conformada por lagunas y la parte interna de ambas bahías en la RBSK se convierten en áreas críticas para el manatí. Además, de las áreas conformadas por la presencia de pasto marino, recurso importante para el manatí.
- Las áreas de tráfico marítimo se identificaron por las rutas más usadas por los navegantes. En la zona de las lagunas se observa un traslape de rutas identificándose mayor tránsito de embarcaciones asociada con la actividad turística. En la Bahía Ascensión se observa un mayor traslape de rutas en la boca de la bahía asociada con la actividad pesquera de langosta. Un mismo patrón se observa en la Bahía Espíritu Santo por actividad pesquera.
- Este trabajo provee una primera evaluación espacial explícita del riesgo de colisión que tienen los manatíes con embarcaciones en la RBSK del Caribe Mexicano. Se identificaron patrones de riesgo en ambas bahías; en la Bahía Ascensión y una porción del área conformada por Lagunas se identificaron como zonas de riesgo medio-alto y en la Bahía Espíritu Santo como zona de riesgo medio. También se identificó mayor exposición de riesgo en áreas de cobertura de pasto marino y en la idoneidad del hábitat para el manatí presentado por Maxent.

13. RECOMENDACIONES

- Los resultados de este estudio pueden ayudar a que los tomadores de decisiones consideren zonas de protección especial y gestionar mediante comunicación con pescadores y prestadores de servicio turístico la regulación de la velocidad de embarcaciones en zonas recreativas a fin de mitigar el impacto de la actividad humana sobre la especie en cuestión y de la demás fauna y flora asociada en la zona de estudio.
- El uso de la herramienta en el modelo de Habitat Risk Assessment (HRA) sirvió como primera aproximación para caracterizar el riesgo de colisión por la actividad marítima en la RBSK y la incertidumbre de los datos.

CONCLUSIÓN

- Dado a los datos limitados y al ser una primera evaluación se sugiere que la interpretación de los resultados se tome con la debida cautela, pues los resultados del presente modelo de riesgo se pueden ver afectados por la resolución espacial de los datos de entrada.
- En este estudio no se obtuvieron datos directos sobre la variación temporal entre manatíes y embarcaciones de modo que es probable que el riesgo de colisión cambie temporalmente entre subregiones por la misma actividad marítima.
- Para mejorar este tipo de modelos, se recomienda efectuar más estudios empíricos que analicen la interacción entre el manatí y embarcaciones en la RBSK. Los patrones de movimientos o inmersión de los manatíes igualmente pueden ayudar a comprender que tan expuestos están a este riesgo. La identificación de las áreas de descanso y alimentación del manatí en cada subregión de la RBSK proporcionarían más información para definir áreas con mayor riesgo de colisión.

14. Literatura citada

- Acosta-Calderón, J. A., L. E. Mateo-Cid y A. C. Mendoza-González. 2016. An updated list of marine green algae (Chlorophyta, Ulvophyceae) from the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico. *Check List* 12 (3): 15.
- Aipanjiguly, S., S. K. Jacobson y R. Flamm. 2003. Conserving Manatees: Knowledge, Attitudes, and Intentions of Boaters in Tampa Bay, Florida. *Conservation Biology* 17(4): 1098–1105.
- Alvarez-Alemán, A., E. García Alfonso., J. A. Powell., C. A. Jacoby., J. D. Austin y T. K. Frazer. 2021. Causes of Mortality for Endangered Antillean Manatees in Cuba. *Frontiers in Marine Science* 8: 1–10.
- Arnegger, J. R. 2008. *Segmentos de Mercado del Turismo en ANP - La Reserva de la Biósfera Sian Ka'an en Quintana Roo (México) como destino turístico*. Tesis de Maestría, Universidad de Múnich, Alemania. 36 p.
- Avila, I. C y A. Giraldo. 2022. Áreas en riesgo para los mamíferos marinos en Colombia. *Revista de Biología Tropical* 70(1): 96–113.
- Axis-Arroyo, J., B. Morales-Vela., D. Torruco-Gómez y M. E. Vega-Cendejas. 1998. Variables asociadas con el uso de hábitat del manatí del Caribe (*Trichechus manatus*), en Quintana Roo, México (Mammalia). *Revista de Biología Tropical* 46(3): 791–803.
- Barkaszi, M. J., M. Fonesca., T. Foster., A. Malhotra y K. Olsen. 2021. *Risk Assessment to Model Encounter Rates between Large Whales and Vessel Traffic from Offshore Wind Energy on the Atlantic OCS*. Sterling (VA): U.S. Department of the Interior, Bureau of Ocean Energy Management. OCS Study BOEM 2021-034. 54 p.
- Bassett, B. L., J. A. Hostetler., E. Leone., C. P. Shea., B. D. Barbeau., G. L. Lonati., A. L. Panike., A. Honaker y L. I. Ward-Geiger. 2020. Quantifying sublethal Florida manatee-watercraft interactions by examining scars on manatee carcasses. *Endangered Species Research* 43: 395–408.
- Bauduin, S., J. Martin., H. H. Edwards., O. Gimenez., S. M. Koslovsky y D. E. Fagan. 2013. An index of risk of co-occurrence between marine mammals and watercraft: Example of the Florida manatee. *Biological Conservation* 159: 127–136.

REFERENCIAS

-
- Berta, A., J. L. Sumich y K. M. Kovacs. 2015. Sirenians and Other Marine Mammals: Evolution and Systematics. En: *Marine Mammals* (pp. 103–129).
- Blair-Irvine, A. 1983. Manatee metabolism and its influence on distribution in Florida. *Biological Conservation* 25(4): 315–334.
- Bonde, R. K., A. A. Aguirre y J. Powell. 2004. Manatees as Sentinels of Marine Ecosystem Health: Are They the 2000-pound Canaries? *EcoHealth* 1(3): 255–262.
- Bonde, R. K., A. A. Mignucci-Giannoni y G. D. Bossart. 2012. Sirenian pathology and mortality assessment. *Sirenian Conservation: Issues and Strategies in Developing Countries* 148–156.
- Brenner, L y D. Vargas del Río. 2010. Gobernabilidad y gobernanza ambiental en México: La experiencia de la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. *Polis: Investigación y Análisis Sociopolítico y Psicosocial* 6(2): 115–154.
- Briscoe, D., S. Hiatt., R. Lewison y E. Hines. 2014. Modeling habitat and bycatch risk for dugongs in Sabah, Malaysia. *Endangered Species Research* 24: 237–247.
- Cahuich, A. A. 2009. *Estructura de tallas y proporción de machos-hembras de la langosta espinosa Panulirus argus (Latreille, 1804) (Decapoda, Palinuridae), en la Bahía del Espíritu Santo, Quintana Roo*. Tesis de Licenciatura, Universidad de Quintana Roo, Cozumel, México. 54 p.
- Calleson, S y R. Frohlich. 2007. Slower boat speeds reduce risks to manatees. *Endangered Species Research* 3: 295–304.
- Castelblanco-Martínez, D. 2018. *CONOCIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LOS MAMÍFEROS MARINOS EN EL COMPLEJO SIAN KA'AN*: Programa de Recuperación y Repoblación de Especies en Riesgo (PROCER). 40 p.
- Castelblanco-Martínez, D., V. dos Reis y B. de Thoisy. 2018. How to detect an elusive aquatic mammal in complex environments? A study of the Endangered Antillean manatee *Trichechus manatus manatus* in French Guiana. *Oryx* 52(2): 382–392.
- Castelblanco-Martínez, D., J. Pérez-Flores., N. Garcés-Cuartas., J. Padilla-Saldívar., A. Romero-Tenorio., L. Lara-Sánchez y C. Niño-Torres. 2020. First documented case in 20 years of an Antillean manatee killed by a watercraft collision in the Mexican Caribbean. *Sirenews* 71: 10–16.
-

REFERENCIAS

-
- Castelblanco-Martínez, D. N., J. Galves., E. A. Ramos., L. Searle., C. Niño-Torres., J. A. Padilla-Saldivar y D. Anderson. 2018. High levels of mortality threaten the Antillean manatee along the Caribbean coast of Belize and Mexico. *Simposio Latinoamericano de Manatíes XII Congreso de La Sociedad Latinoamericana de Especialistas En Mamíferos Acuáticos (SOLAMAC)*, 11.
- Castelblanco-Martínez, D. N., B. Morales-Vela., H. A. Hernández-Arana y J. Padilla-Saldivar. 2009. Diet of the manatees (*Trichechus manatus manatus*) in Chetumal Bay, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 7(1–2): 39–46.
- Castelblanco-Martínez, D. N., J. Padilla-Saldivar., H. A. Hernández-Arana., D. H. Slone., J. P. Reid y B. Morales-Vela. 2013. Movement patterns of Antillean manatees in Chetumal Bay (Mexico) and coastal Belize: A challenge for regional conservation. *Marine Mammal Science* 29(2): 166–182.
- Castelblanco-Martínez, N., C. Nourisson., E. Quintana-Rizzo., J. Padilla-Saldivar y J. J. Schmitter-Soto. 2012. Potential effects of human pressure and habitat fragmentation on population viability of the Antillean manatee *Trichechus manatus manatus*: a predictive model. *Endangered Species Research* 18: 129–145.
- Chavarría, M. R., J. Castro y A. Camacho. 2015. The relationship between acoustic habitat, hearing and tonal vocalizations in the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*, Linnaeus, 1758). *Biology Open* 4(10): 1237–1242.
- Chion, C., S. Turgeon., G. Cantin., R. Michaud., N. Ménard., V. Lesage., L. Parrott., P. Beaufile., Y. Clermont y C. Gravel. 2018. A voluntary conservation agreement reduces the risks of lethal collisions between ships and whales in the St. Lawrence Estuary (Québec, Canada): From co-construction to monitoring compliance and assessing effectiveness. *PLoS ONE* 13(9): 1–26.
- Cloyed, C., E. E. Hieb., M. K. Collins., K. P. DaCosta y R. H. Carmichael. 2019. Linking use of ship channels by West Indian manatees (*Trichechus manatus*) to seasonal migration and habitat use. *Frontiers in Marine Science* 6(318): 1–16.
- Colmenero-Rolón, L. 1985. Aspectos de la ecología y comportamiento de una colonia de manatíes (*Trichechus manatus*) en el municipio de Emiliano Zapata, Tabasco. *Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. de Méx., Ser. Zool* 56(2): 589–602.
- Colmenero-Rolón, L. 1991. Propuesta de un plan de recuperación para la población del
-
- Evaluación espacial del riesgo de colisión por embarcaciones para manatíes en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (RBSK)

-
- manatí *Trichechus manatus* de México. *Anales Del Instituto de Biología* 62(2): 203–218.
- Colmenero-Rolón y B. Zárate. 1990. Distribution , Status and Conservation of the West Indian Manatee in Quintana Roo, México. *Biological Conservation* 52: 27–35.
- Combs, B. L. 2018. *Quantifying the Probability of Lethal Injury to Florida Manatees Given Characteristics of Collision Events*. Tesis de Maestría, University of South Florida, 27 p.
- CONANP. 2014. *Programa de Manejo Complejo Sian Ka'an: Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Área de Protección de Flora y Fauna Uaymil y Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 289 p.
- Cormier, R., A. Kannen., M. Elliott., P. Hall., I. M. Davies., A. Diedrich., G. E. Dinesen, G., J. Ekstrom., C. Greathead., L. Greig., M. Hardy., E. Lizee., R. MacIlsac., M. Metz., E. Moksness., B. Morales-Nin., M. Ouellette., R. Sardá., D. Scheltinga y J. Støttrup. 2013. *Marine and Coastal Ecosystem-Based Risk Management Handbook*. ICES Cooperative Research Report No. 317. 60 pp.
- Corona-Figueroa, M. F. 2019. *Análisis de factores eco-hidrológicos y su afectación en el hábitat y distribución del manatí (Sirenia: Trichechus manatus manatus,L.) en el río Hondo, Quintana Roo, México*. Tesis de Maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 103 p.
- Creswell, J. W. 2007. *Qualitative Inquiry Research Design: Choosing among five approaches* (2a edición). En: SAGE Publications.
- Creswell, J. W. 2009. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. En: *SAGE Publications, Inc.* (3a edición).
- Creswell, J. W. 2012. *Educational Research: Planning, Conducting and Evaluating Quantitative and Qualitative Research* (4a edición). Pearson Education, Inc.
- Daniel-Rentería, I. C., A. Serrano y G. Sánchez-Rojas. 2012. Distribución del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en el Sistema Lagunar de Alvarado (Veracruz, México). *Ciencias Marinas* 38(2): 459–465.
- Dawson, T. P., S. T. Jackson., J. I. House., I. C. Prentice y G. M. Mace. 2011. Beyond
-
- Evaluación espacial del riesgo de colisión por embarcaciones para manatíes en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (RBSK)

-
- Predictions: Biodiversity Conservation in a Changing Climate. *Science* 332: 53–58.
- De Meirelles, A. 2008. Mortality of the Antillean manatee, *Trichechus manatus manatus*, in Ceará State, north-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88(6): 1133–1137.
- de Souza, D. A., A. L. Gonçalves., E. M. von Muhlen y V. M. da Silva. 2021. Estimating occupancy and detection probability of the Amazonian manatee (*Trichechus inunguis*), in Central Amazon, Brazil. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 8.
- Delgado-Estrella, A., G. Rivas-Hernández y L. E. Vázquez-Maldonado. 2020. Evidencia de colisiones de embarcaciones con manatíes (*Trichechus manatus manatus*) en la Laguna de Términos, Campeche. En: A. Pérez-Morales, J. A. Aké-Castillo, & C. A. Poot-Delgado (Eds.), *Investigaciones marinas en el Golfo de México y Mar Caribe Mexicano*. (pp. 536–549).
- Díaz-Maestre, B., O. Guzón-Zatarain., R. Mendieta-Vega., B. Roldán-Clarà y M. Grano-Maldonado. 2020. La influencia del turismo, las prácticas de gestión ecológica y la perspectiva social durante la observación de lobos marinos (*Zalophus Californianus*) (Lesson 1828) En Mazatlán, México. *Biotempo* 17(2): 195–208.
- Díaz-Maestre, B., O. Guzon-Zatarain., S. Pompa-Mansilla., M. Grano-Maldonado y B. Roldán-Clara. 2021. Características de la actividad turística que utiliza al lobo marino de California como recurso no extractivo en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Revista Geográfica Del Sur* 10(1): 31–51.
- Domning, D. P. 2005. Fossil Sirenia of the West Atlantic and Caribbean region. VII. Pleistocene *Trichechus manatus* Linnaeus, 1758. *Journal of Vertebrate Paleontology* 25(3): 685–701.
- Domning, D. P. 2018. Sirenian Evolution. En: *Encyclopedia of Marine Mammals* (pp. 856–859).
- Edwards, H. H. 2013. Potential impacts of climate change on warmwater megafauna: The Florida manatee example (*Trichechus manatus latirostris*). *Climatic Change* 121(4): 727–738.
- Edwards, H. H., J. Martin., C. J. Deutsch., R. G. Muller., S. M. Koslovsky., A. J. Smith y M. E. Barlas. 2016. Influence of Manatees' diving on their risk of collision with watercraft.
-

PLoS ONE 11(4): 15.

- Fagone, D. M., S. A. Rommel y M. E. Bolen. 2000. Sexual dimorphism in vestigial pelvic bones of Florida manatees (*Trichechus manatus latirostris*). *Florida Scientist* 63(3): 177–181.
- Favero, I. T., G. E. Favero., K. F. Choi-Lima., H. F. dos Santos., J. P. Souza-Alves., J. de Souza y J. L. Feitosa. 2020. Effects of freshwater limitation on distribution patterns and habitat use of the West Indian manatee, *Trichechus manatus*, in the northern Brazilian coast. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*: 1–9.
- Fernández Moreno, Y. 2008. ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas. *Espiral, Estudios Sobre Estado y Sociedad* 15(43): 179–202.
- Flores-Cascante, L., B. Morales-Vela., Castelblanco-Martinez, N., J. Padilla-Saldivar y N. Auil. 2013. Diet items of manatee *Trichechus manatus manatus* in three priority sites for the species in Mexico and Belize. *Revista Ciencias Marinas y Costeras* 5: 25–36.
- Flores Sánchez, E. de J., M. A. García-Salinas., A. Delgado-Estrella., A. L. Calderón-Garcidueñas., S. M. Waliszewski., R. Infanzón-Ruiz y R. Ruiz-Ramos. 2018. Presencia de plaguicidas organoclorados en muestras biológicas de Toninas (*Tursiops truncatus*) y Manatíes (*Trichechus manatus manatus*) colectadas en el Sur del Golfo de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 34(1): 17–28.
- Galves, J., C. G. Galves., N. Auil Gomez., R. K. Bonde., J. Powell., A. Alvarez-Alemán y Castelblanco-Martínez, N. 2022. Analysis of a long-term dataset of Antillean manatee strandings in Belize: implications for conservation. *Oryx*: 9.
- Garcés-Cuartas, N. 2020. *Ecología trófica del manatí del Caribe: una herramienta de conservación para ecosistemas estratégicos en el Caribe Mexicano*. Tesis de Doctorado, Universidad de Quintana Roo, Cozumel, Quintana Roo. 185 p.
- Gomes Borges, J. C., J. E. Vergara-Parente., C. M. de Carvalho Alvite., M. C. Calzavara Marcondes y R. P. de Lima. 2007. Embarcações motorizadas: uma ameaça aos peixes-boi marinhos (*Trichechus manatus*) no Brasil. *Biota Neotropica* 7(3): 199–204.
- Guevara-Porras, P. L., M. Guzmán-Blas y J. Hernández-Nava. 2019. Actualización de datos sobre la distribución del manatí (*Trichechus manatus manatus*) en los sistemas fluvio-

REFERENCIAS

-
- lagunares que conectan con la laguna de Términos, Campeche, a través de la participación comunitaria. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90: 10.
- Guisan, A y Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135(2–3): 147–186.
- Hartman, D. S. 1979. Ecology and Behavior of the Manatee (*Trichechus manatus*) in Florida. En: *American Society of Mammologists* (Vol. 5). Ithaca, Nueva York. 151 p.
- Hashim, M., S. Ito., S. Numata., T. Hosaka., M. S. Hossain., S. Misbari., N. Yahya y S. Ahmad. 2017. Using fisher knowledge, mapping population, habitat suitability and risk for the conservation of dugongs in Johor Straits of Malaysia. *Marine Policy* 78: 18–25.
- Heyning, J. E. 2001. Marine Mammal Evolution and Taxonomy. En: *Encyclopedia of Ocean Sciences* (pp. 1596–1602).
- Hines, E., L. S. Ponnampalam., C. Junchompoo., C. Peter., L. Vu., T. Huynh., M. Caillat., A. F. Johnson., G. Minton., R. Lewison y G. M. Verutes. 2020. Getting to the bottom of bycatch: a GIS-based toolbox to assess the risk of marine mammal bycatch. *Endangered Species Research* 42: 37–57.
- International Whaling Commission. 2011. *Report of the Joint IWC-ACCOBAMS Workshop on Reducing Risk of Collisions between Vessels and Cetaceans. Agenda item 4.1: IWC/63/CC8*, Discussed at the 63rd International Meeting Commission. Cambridge, UK: International Whaling Commission. 42.
- Jiménez, I. 2005. Development of predictive models to explain the distribution of the West Indian manatee *Trichechus manatus* in tropical watercourses. *Biological Conservation*, 125: 491–503.
- Koelsch, J. K. 2001. Reproduction in female manatees observed in Sarasota Bay, Florida. *Marine Mammal Science* 17(2): 331–342.
- La Manna, G., S. Clò., E. Papale y G. Sarà. 2010. Boat traffic in Lampedusa waters (Strait of Sicily, Mediterranean Sea) and its relation to the coastal distribution of common bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). *Ciencias Marinas* 36(1): 71–81.
- LaCommare, K. S., C. Self-Sullivan y S. Brault. 2008. Distribution and habitat use of Antillean manatees (*Trichechus manatus manatus*) in the Drowned Cayes Area of Belize, Central America. *Aquatic Mammals* 34(1): 35–43.
-

REFERENCIAS

-
- Laist, D. W y C. Shaw. 2006. Preliminary evidence that boat speed restrictions reduce deaths of Florida manatees. *Marine Mammal Science* 22(2): 472–479.
- Landeo-Yauri, S. S. 2019. *Uso de drones como herramienta auxiliar en el estudio y conservación de manatíes antillanos en el Caribe Mexicano*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 87 p.
- Landero-Figueroa, M. M. 2010. *Distribución potencial del manatí (Trichechus manatus manatus) en Bahía de la Ascensión, Quintana Roo*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Unidad Mérida, Yucatán. 86 p.
- Landero, M. M., M. Liceaga-Correa y B. Morales-vela. 2014. Ecological distribution of manatee (*Trichechus manatus manatus*) in Bahía de la Ascensión, Mexico. *Marine Mammal Science* 30(4): 1581–1588.
- Li, X y Y. Wang. 2013. Applying various algorithms for species distribution modelling. *Integrative Zoology* 8: 124–135.
- Lightsey, J. D., S. A. Rommel., A. M. Costidis y T. D. Pitchford. 2006. Methods used during gross necropsy to determine watercraft-related mortality in the Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 37(3): 262–275.
- Maitland, R. N., I. R. Lawler y J. K. Sheppard. 2006. Assessing the risk of boat strike on Dugongs *Dugong dugon* at Burrum Heads, Queensland, Australia. *Pacific Conservation Biology* 12(4): 321–326.
- Marmontel, M. 1995. Age and reproduction in female Florida manatees. En: *Population Biology of the Florida Manatee* (pp. 98–119). Information and Technology Report 1, ed. T. J. O’Shea, B. B. Ackerman y H. F. Percival. Washington, D. C.: National Biological Service.
- Marmontel, M., D. K. Odell y J. E. Reynolds. 1992. South American Manatees. En: H. W.C. (Ed.), *Reproductive Biology of South American Vertebrates* (pp. 295–312). Springer, New York, NY.
- Marsh, H., T. O’Shea y R. Best. 1986. Research on Sirenians. *Ambio* 15(3): 177–180.
- Marsh, H., T. O’Shea y J. E. Reynolds. 2012. Ecology and Conservation of the Sirenia: Dugongs and Manatees. En: *Cambridge University Press, Cambridge, UK*.
-

REFERENCIAS

-
- Martin, J., Q. Sabatier., T. Gowan., C. Giraud., E. Gurarie., C. Calleson., J. Ortega-Ortiz., C. Deutsch., A. Rycyk y S. M. Koslovsky. 2016. A quantitative framework for investigating risk of deadly collisions between marine wildlife and boats. *Methods in Ecology and Evolution* 7: 42–50.
- Mateo, R. G., A. Felicísimo y J. Muñoz. 2011. Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural* 84(2): 217–240.
- Mazzotti, F. J., H. E. Fling., G. Merediz., M. Lazcano., C. Lasch y T. Barnes. 2005. Conceptual ecological model of the Sian Ka'an Biosphere Reserve, Quintana Roo, Mexico. *WETLANDS* 25(4): 980–997.
- McAllan, B. M y F. Geiser. 2018. Torpor During Reproduction in Mammals and Birds: Balancing Energy Expenditure for Survival. En: *Encyclopedia of Reproduction*. Second Edi, Vol. 6. Elsevier (pp. 757–763).
- Mesnick, S y K. Ralls. 2018. Sexual Dimorphism. En: *Encyclopedia of Marine Mammals*. Elsevier Inc (pp. 848-853).
- Mignucci-Giannoni, A. A., C. Iglesias-Escabí., R. Rosario-Delestre y M. Alsina-Guerrero. 2018. Variación en la distribución del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en la costa sur de Puerto Rico a través de censos aéreos en helicóptero. *Revista Ciencias Marinas y Costeras* 10(1): 97–121.
- Mignucci-Giannoni, A., R. Montoya-Ospina., N. Jiménez-Marrero., M. Rodríguez-López., E. Williams y R. Bonde. 2000. Manatee mortality in Puerto Rico. *Environmental Management* 25(2): 189–198.
- Miksis-Olds, J., P. Donaghay., J. Miller., P. Tyack y J. Reynolds. 2007. Simulated vessel approaches elicit differential responses from manatees. *Marine Mammal Science* 23(3): 629–649.
- Miksis-Olds, J. L., P. Donaghay., J. Miller., P. Tyack y J. Nystuen. 2007. Noise level correlates with manatee use of foraging habitats. *The Journal of the Acoustical Society of America* 121(5): 3011–3020.
- Miksis-Olds, J. L y P. Tyack. 2009. Manatee (*Trichechus manatus*) vocalization usage in relation to environmental noise levels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 125(3): 1806–1815.
-

REFERENCIAS

-
- Miranda-Torres, A. 2020. *Valoración económica del servicio ecosistémico recreativo provisto por el tiburón ballena (Rhincodon typus) en La Bahía de La Paz, BCS*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur. 66 p.
- Morales-López, M., L. Olivera Gómez y C. Zenteno Ruiz. 2012. Intervalo respiratorio y desplazamientos de manatíes antillanos *Trichechus manatus manatus* (Sirenia). Comparación entre las temporadas seca y lluviosa en una laguna aislada. *Mastozoología Neotropical* 19(1): 117–126.
- Morales-Vela, B y L. Olivera-Gómez. 1997. Distribución del manatí (*Trichechus manatus*) en la costa Norte y Centro-Norte del estado de Quintana Roo, México. *Anales Del Instituto de Biología de La Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología* 68(1): 153–164.
- Morales-Vela, B y J. Padilla-Saldívar. 2001. *Los manatíes en Quintana Roo*. 7–9.
- Morales-Vela, B y J. Padilla-Saldivar. 2009a. Aspectos biológicos de los manatíes en el sur de Quintana Roo. En: G. A. I. y H. A. H.-A. (eds. . J. Espinoza-Avalos (Ed.), *El sistema ecológico de la bahía de Chetumal/Corozal: costa occidental del Mar Caribe*. ECOSUR.
- Morales-Vela y J. Padilla-Saldivar. 2009b. *Demografía, ecología y salud de la población de manatíes (Trichechus manatus manatus) en Quintana Roo, y su variación y representación genética en México*.
- Morales-Vela, B., J. Padilla y M. López. 2002. Mortandad de manatíes en la Bahía de Chetumal y riesgos actuales. En: *Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la Bahía de Chetumal y su área de influencia* (pp. 67–72). Universidad de Quintana Roo.
- Normande, I. C., F. Luna., A. Malhado., J. Gomes Borges., P. Viana Junior., F. Niemeyer Attademo y R. Ladle. 2015. Eighteen years of Antillean manatee *Trichechus manatus manatus* releases in Brazil: Lessons learnt. *Oryx* 49(2): 338–344.
- Nourisson, C., B. Morales-Vela., J. Padilla-Saldívar., K. Tucker., A. Clark., L. Olivera-Gómez., R. Bonde y P. McGuire. 2011. Evidence of two genetic clusters of manatees with low genetic diversity in Mexico and implications for their conservation. *Genetica* 139(7): 833–842.
-

REFERENCIAS

-
- Nowacek, S. M., D. Nowacek., M. Johnson., K. Shorter., J. Powell y R. Wells. 2002. *Manatee behavioral responses to vessel approaches: Results of Digital Acoustic Data Logger Tagging of Manatees in Belize*.
- Nowacek, S., R. Wells., E. Owen., T. Speakman., R. Flamm y D. Nowacek. 2004. Florida manatees, *Trichechus manatus latirostris*, respond to approaching vessels. *Biological Conservation* 119: 517–523.
- O'Shea, T. J. 2014. *Family Trichechidae (manatees)*. Wilson, D.E & Mittermeier, R.A, eds. Handbook of Mammals of the World. Vol.4. Sea Mammals. Lynx Edicions, Barcelona. (pp. 548-562).
- O'Shea, T., N. Takeuchi., L. Weijs y H. Marsh. 2018. Ecotoxicology of the Sirenia in the Twenty-First Century. En: *Marine Mammal Ecotoxicology: Impacts of Multiple Stressors on Population Health*. Elsevier Inc.
- Olivera-Gómez, L y D. Jiménez-Domínguez. 2010. *Distribución y amenazas para la conservación del Manatí (Trichechus manatus) en humedales de Tabasco*.
- Olivera-Gómez, L. D y E. Mellink. 2005. Distribution of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) as a function of habitat characteristics, in Bahía de Chetumal, Mexico. *Biological Conservation* 121: 127–133.
- Panigada, S., A. Azzellino., H. Cubaynes., T. Folegot., P. Fretwell., T. Jacob., C. Lanfredi., R. Leaper., D. Ody y M. Ratel. 2020. Proposal to develop and evaluate mitigation strategies to reduce the risk of ship strikes to fin and sperm whales in the Pelagos Sanctuary. *Final Report. Pelagos Secretariat - Convention No. 2018-04*, 67.
- Pennino, M. G., A. Arcangeli., V. Prado Fonseca., I. Campana., G. Pierce., A. Rotta y J. Bellido. 2017. A spatially explicit risk assessment approach: Cetaceans and marine traffic in the Pelagos Sanctuary (Mediterranean Sea). *PLoS ONE* 12(6): 1–15.
- Pérez-Morales, A., J. Aké-Castillo y C. Poot-Delgado. 2020. *Investigaciones marinas en el golfo de México y mar Caribe mexicano*. Universidad de Colima. 564 p.
- PNUMA. 1995. Plan de Manejo Regional para el Manatí Antillano, *Trichechus manatus*. In *Informe Técnico del PAC No. 35. Programa Ambiental del Caribe del PNUMA, Kingston, Jamaica*.
- Puc-Carrasco, G., L. Olivera-Gómez., S. Arriaga-Hernández y D. Jiménez-Domínguez.
-
- Evaluación espacial del riesgo de colisión por embarcaciones para manatíes en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an (RBSK)

REFERENCIAS

-
2016. Abundancia relativa del manatí antillano en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla en la planicie costera de Tabasco, México. *Ciencias Marinas* 42(4): 261–270.
- Ramírez-Jiménez, H. H. 2008. *Uso del hábitat de manatíes (Trichechus manatus) aislados en la Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México*. Tesis de Maestría, El Colegio de la Frontera Sur, Tabasco, México. 83 p.
- Ramírez-Jiménez, H. H., L. Olivera-Gómez y H. De La Cueva. 2017. Habitat use by the Antillean manatee (*Trichechus manatus*) during an extreme dry season in an urban lake in Tabasco, Mexico. *Therya* 8(1): 19–26.
- Rathbun, G. B., J. Reid., R. Bonde y J. Powell. 1995. *Reproduction in free-ranging Florida manatees (Trichechus manatus latirostris)* (pp. 135–156). National Biological Service.
- Redfern, J. V., M. McKenna., T. Moore., J. Calambokidis., M. Deangelis., E. Becker., J. Barlow., K. Forney., P. Fiedler y S. Chivers. 2013. Assessing the Risk of Ships Striking Large Whales in Marine Spatial Planning. *Conservation Biology* 27(2): 292–302.
- Reep, R. L y R. Bonde. 2006. *The Florida Manatee: Biology and Conservation* (p. 224). University Press of Florida.
- Reeves, R. R., B. Stewart y S. Leatherwood. 1992. *The Sierra Club Handbook of Seals and Sirenians*. San Francisco. 359 p.
- Reid, J. P., G. Rathbun y J. Wilcox. 1991. Distribution Patterns of Individually Identifiable West Indian Manatees (*Trichechus manatus*) in Florida. *Marine Mammal Science* 7(2): 180–190.
- Rengstorf, A. M., C. Yesson., C. Brown, C y A. Grehan. 2013. High-resolution habitat suitability modelling can improve conservation of vulnerable marine ecosystems in the deep sea. *Journal of Biogeography* 40(9): 1–13.
- Reynolds, J. E. 1981. Aspects of the social behaviour and herd structure of a semi-isolated colony of West Indian manatees *Trichechus manatus*. *Mammalia* 45(4): 431–452.
- Reynolds, J. E., J. Powell., L. Keith Diagne., S. Barton y K. Scolardi. 2018. Manatees: *Trichechus manatus*, *T. senegalensis*, and *T. inunguis*. En: *Encyclopedia of Marine Mammals*. Third Edition. Academic Press. (pp. 558-566).
-

REFERENCIAS

-
- Reynolds, J. E., J. Powell y C. Taylor. 2009. Manatees: *Trichechus manatus*, *T. senegalensis*, and *T. inunguis*. En: *Encyclopedia of Marine Mammals* (Vol. 1883, pp. 682–691).
- Richardson, W. J., C. Greene., C. Malme y D. Thomson. 1995. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press. Elsevier Inc. 576 p.
- Ripple, J. 1999. *Manatees and Dugongs of the World*. Voyageur Press.
- Rivera-Martínez, C. 2020. *Capital natural y turismo náutico en San Carlos, Sonora, México*. Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Guaymas, Sonora, 61 p.
- Robles Herrejón, J. C., B. Morales-Vela., A. Ortega-Argueta., C. Pozo, C y L. Olivera-Gómez. 2020. Management effectiveness in marine protected areas for conservation of Antillean manatees on the eastern coast of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*: 1–12.
- Rodas-Trejo, J., E. Romero Berny y A. Estrada. 2008. Distribution and Conservation of the West Indian Manatee (*Trichechus manatus manatus*) in the Catazajá Wetlands of Northeast Chiapas, México. *Tropical Conservation Science* 1(4): 321–333.
- Rojas-Correa, A y A. Palafox-Muñoz. 2018. La apropiación social del territorio en la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. *Études Caribéennes* 41: 20.
- Rojas Correa, A y A. Palafox-Muñoz. 2019. Turismo y acumulación de capital: una mirada a la Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. *Íconos - Revista de Ciencias Sociales* 64: 47–67.
- Romero-Berny, E. I., J. Rodas-Trejo y C. Méndez-López. 2014. Registro de muertes y varamientos de manatíes del Caribe (*Trichechus manatus*), período 2001-2010, en el Sistema Lagunar de Catazajá, Chiapas. *Lacandonia* 8(1): 105–111.
- Rommel, S. A., A. Costidis., T. Pitchford., J. Lightsey., R. Snyder y E. Haubold. 2007. Forensic methods for characterizing watercraft from watercraft-induced wounds on the Florida manatee (*Trichechus manatus latirostris*). *Marine Mammal Science* 23(1): 110–132.
- Ross, L. K., R. Ross., H. Stewart y K. Howell. 2015. The influence of data resolution on predicted distribution and estimates of extent of current protection of three “listed” deep-

REFERENCIAS

-
- sea habitats. *PLoS ONE* 10(10): 1–19.
- Rycyk, A. 2013. *Manatee Behavioral Response to Approaching Boats*. Tesis de Doctorado. Florida State University, USA. 268 p.
- Rycyk, A., C. Deutsch., M. Barlas., S. Hardy., K. Frisch., E. Leone y D. Nowacek. 2018. Manatee behavioral response to boats. *Marine Mammal Science* 34(4): 924–962.
- Self-Sullivan, C y A. Mignucci-Giannoni. 2008. <https://www.iucnredlist.org/species/22105/9359161>. *Trichechus manatus ssp. manatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Última actualización: 30 de junio de 2008. Fecha de consulta: 24 de septiembre de 2020.
- SEMARNAT. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. Diario Oficial de la Federación (DOF). 78 p.
- SEMARNAT. 2018. *Programa de Acción para la Conservación de la Especie en Riesgo Manatí (Trichechus manatus manatus)*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 53 p.
- Sharp, R., H. Tallis., T. Ricketts., A. Guerry., S. Wood., R. Chaplin-Kramer., E. Nelson., D. Ennaanay., S. Wolny., N. Olwero., K. Vigerstol., D. Pennington., G. Mendoza., J. Aukema., J. Foster., J. Forrest., D. Cameron., K. Arkema., E. Lonsdorf., C. Kennedy., G. Verutes y J. Douglass. 2019. *InVEST 3.7.0. User guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund. Stanford, CA: Stanford University*.
- Smith, J. N., N. Kelly., S. Childerhouse., J. Redfern., T. Moore y D. Peel. 2020. Quantifying Ship Strike Risk to Breeding Whales in a Multiple-Use Marine Park: The Great Barrier Reef. *Frontiers in Marine Science* 7(67): 1–15.
- Sosa-Cordero, E., M. Liceaga-Correa y J. Seijo. 2008. The Punta Allen lobster fishery: current status and recent trends. *Case Studies on Fisheries Self-Governance*: 149–162.
- Stelzenmüller, V., H. Fock., A. Gimpel., H. Rambo., R. Diekmann., W. Probst., U. Callies., F. Bockelmann., H. Neumann y I. Kröncke. 2015. Quantitative environmental risk assessments in the context of marine spatial management: current approaches and some perspectives. *ICES Journal of Marine Science* 72(3): 1022–1042.
-

REFERENCIAS

-
- Suárez-Achaval, R. G. 2010. *Caracterización del Hábitat del Manatí (Trichechus manatus manatus) en el Sistema Lagunar del Alvarado, Veracruz*. Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana, Tuxpan, México. 69 p.
- Udell, B. J., J. Martin., R. Fletcher., M. Bonneau., H. Edwards., T. Gowan., S. Hardy., E. Gurarie., C. Calleson y C. Deutsch. 2018. Integrating encounter theory with decision analysis to evaluate collision risk and determine optimal protection zones for wildlife. *Journal of Applied Ecology* 56: 1050–1062.
- Velázquez-Mendoza, S. 2018. *Análisis de la distribución, uso de hábitat y conocimiento local del manatí antillano (Trichechus manatus manatus) en la laguna Conil, Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, Quintana Roo, México*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Ciudad de México. 72 p.
- Verutes, G. M., A. Johnson., M. Caillat., L. Ponnampalam., C. Peter., L. Vu., C. Junchompoo., R. Lewison y E. Hines. 2020. Using GIS and stakeholder involvement to innovate marine mammal bycatch risk assessment in data-limited fisheries. *PLoS ONE* 15(8): 1–25.
- Williams, R y P. O'Hara. 2010. Modelling ship strike risk to fin, humpback and killer whales in British Columbia, Canada. *Journal of Cetacean Research and Management* 11(1): 1–8.

15. ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta para pescadores y prestadores de servicio turístico de la RBSK.



División de
Desarrollo
Sustentable



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

UNIDAD ACADÉMICA COZUMEL

Maestría en Ciencias Marinas y Costeras

“Encuesta sobre el uso de embarcaciones en la Reserva de la Biosfera Sian Ka’an”

Esta encuesta va dirigida a los navegantes que transitan dentro de la Reserva de la Biosfera Sian Ka’an con la finalidad de conocer la actividad del tráfico de embarcaciones en el área de estudio.

Lugar:	Fecha:
--------	--------

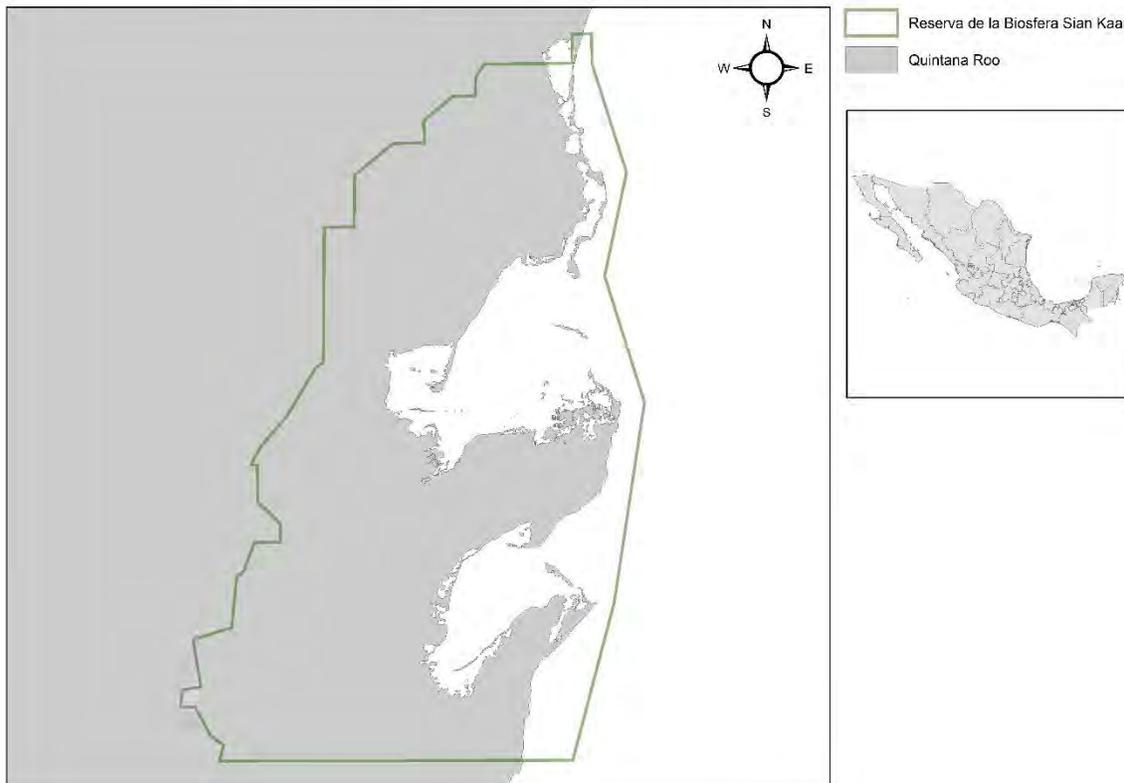
Nombre:				
Sexo:	Masculino	Femenino		
Edad:	18-25 años	25-35 años	35-45 años	45-55 años >55 años
Tiempo de vivir en la región:	<10 años	10-20 años	20-40 años	>40 años
Dentro de la Reserva de la Biosfera Sian Ka’an (RBSK),				
¿Qué lugar frecuenta?				
¿Con qué frecuencia?	2-3 días a la semana	5 días a la semana	7 días de la semana	
¿Qué actividad realiza?	Pesquera	Turística	Cultivo de langosta, otra (especifique)	
¿Qué mes?				
¿En qué horario realiza la actividad?	6:00am-12:00pm	/ 12:00pm-6:00pm	/	6:00pm-12:00am

ANEXOS

	12am- 6:00 am		
¿Qué tipo de embarcación utiliza?	Barco pesquero	Barco recreacional	
La embarcación que utiliza es:	Propio	De la cooperativa	Rentado
Tamaño del motor:			
Longitud de la embarcación:			
Velocidad a la que transita:			

En el siguiente mapa, favor de trazar la(s) ruta(s) que suele transitar:

RESERVA DE LA BIOSFERA SIAN KAAAN



1) Especificar para cada una de ellas con qué frecuencia (número de veces por mes) la realiza.

2) ¿Normalmente a qué velocidad se desplaza? ¿Cambia la velocidad entre zonas? Detallar

Manatí antillano

¿Tiene conocimiento de que el manatí	Si	No
--------------------------------------	----	----

ANEXOS

antillano habita en la RBSK?				
¿Sabe que el manatí es una especie protegida?	Si	No		
¿Qué importancia representa para usted el manatí?	Ecológica o Ambiental		Turística	Ambas
Dentro de la RBSK, en qué sitio ha observado al manatí?				
¿Cuántos manatíes ha observado durante sus recorridos?	1	2-4	5-8	> 10 manatíes
¿Ha sido testigo o ha tenido conocimiento de algún accidente de colisión hacia el manatí?	Si	No		
¿Qué tan frecuente son los accidentes de colisión al manatí?	Muy frecuente	Poco frecuente		NS/NR
¿En qué medida considera que las colisiones por embarcaciones afectan a la población de manatíes?	En Alta medida	En Moderada medida	En Baja medida	
¿Considera que las embarcaciones que transitan en la RBSK representan algún tipo de riesgo para el manatí?	Si	No		
¿Cuántos casos de muerte de manatí conoce?	1	3-5	6-8	> 10 casos
¿En qué lugar de la Bahía Ascensión? (especifique)				
¿Considera que la velocidad de la embarcación es un factor potencial del riesgo de colisión para el manatí?	Si	No		
¿Tiene usted conocimiento del Reglamento de la ley de navegación y comercio marítimos?	Si	No		
Observaciones:				

Anexo 2. Fotografías de los avistamientos de manatí durante el recorrido desde embarcación en la Bahía Espíritu Santo.

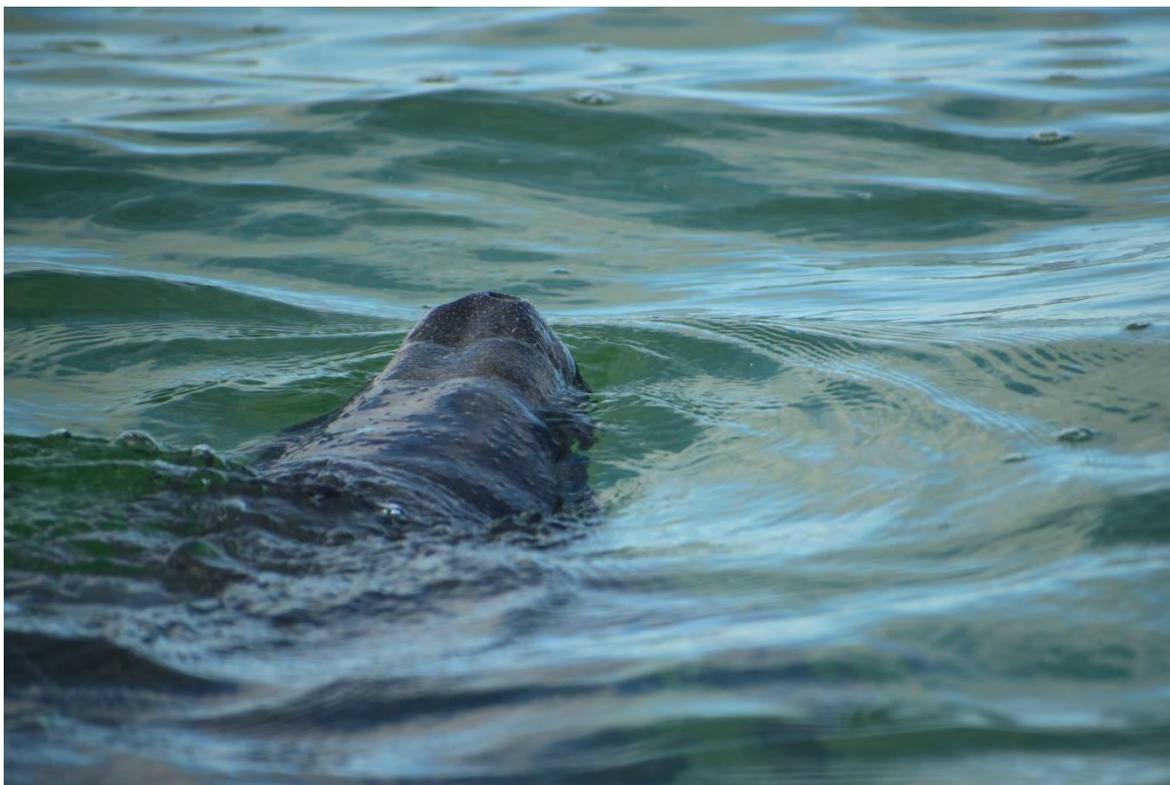


Chan Cozumel (19°24'13.3" N, 87°33'13.2" O), 12 de noviembre de 2021, 8:34 a.m., 2 individuos.



ANEXOS

Chan Cozumel (19°24'13.3" N, 87°33'13.2" O), 12 de noviembre de 2021, 8:37 a.m., 2 individuos.



Chan Cozumel (19°24'13.3" N, 87°33'13.2" O), 12 de noviembre de 2021, 8:43 a.m., 1 individuo.



Chan Cozumel (19°24'13.3" N, 87°33'13.2" O), 12 de noviembre de 2021, 8:47 a.m., 1 individuo.

ANEXOS



Chan Cozumel (19°24'00.4" N, 87°33'23.4" O), 12 de noviembre de 2021, 9:55 a.m., 2 individuos, hembra con cría.



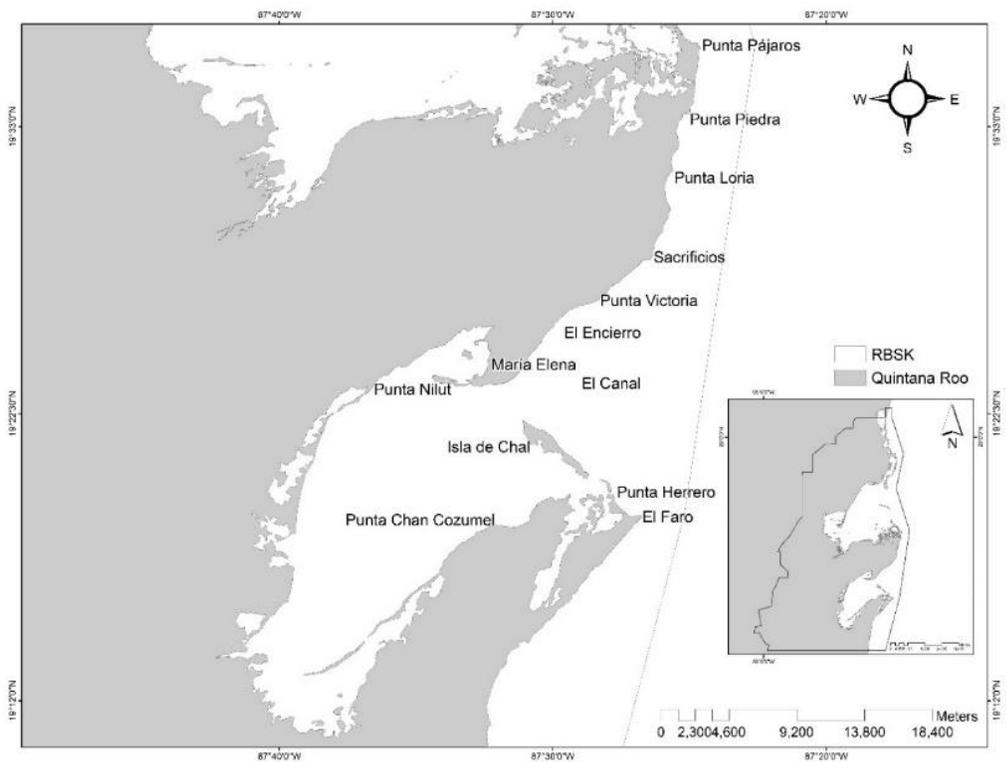
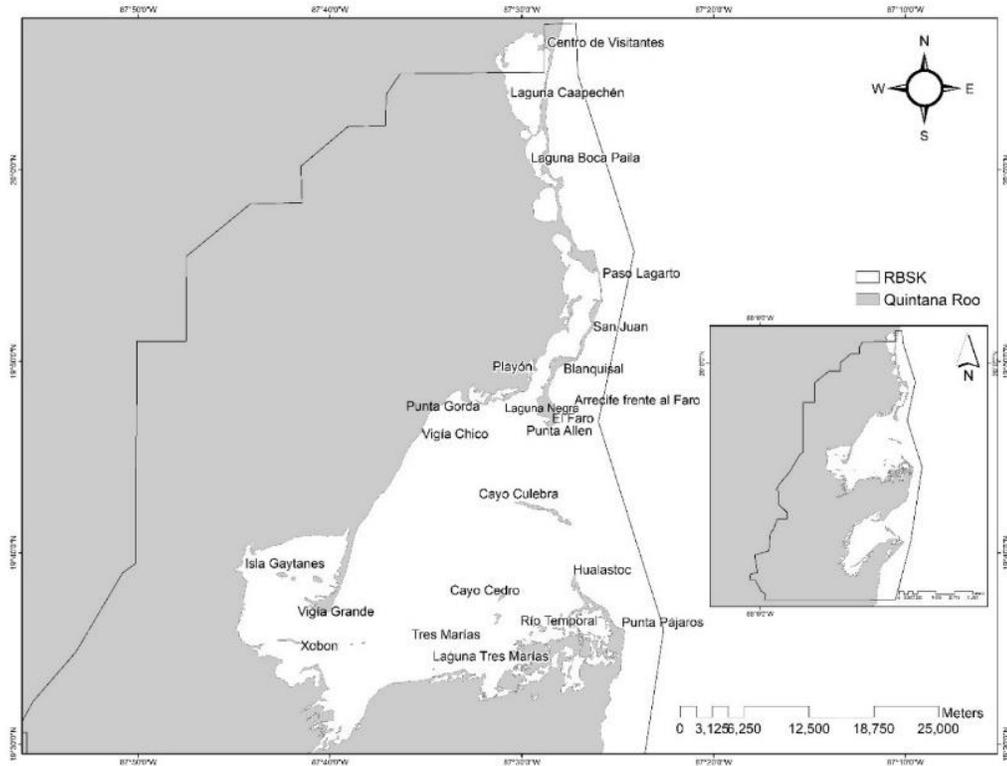
Chan Cozumel (19°24'00.4" N, 87°33'23.4" O), 12 de noviembre de 2021, 9:55 a.m., 2 individuos, hembra con cría.



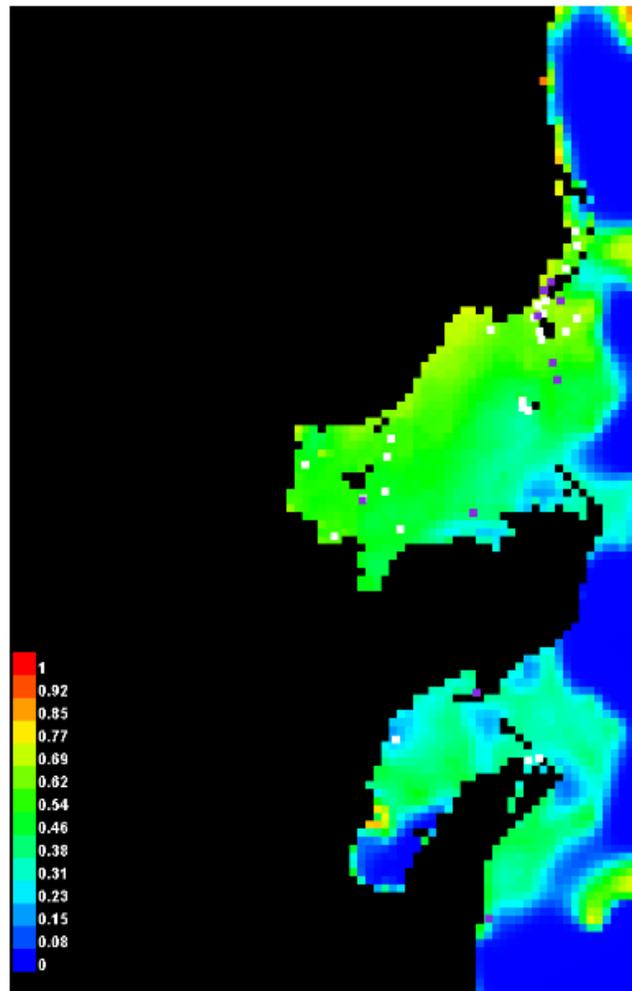
Chan Cozumel ($19^{\circ}24'00.4''$ N, $87^{\circ}33'23.4''$ O), 12 de noviembre de 2021, 9:56 a.m., 2 individuos, hembra con cría.

ANEXOS

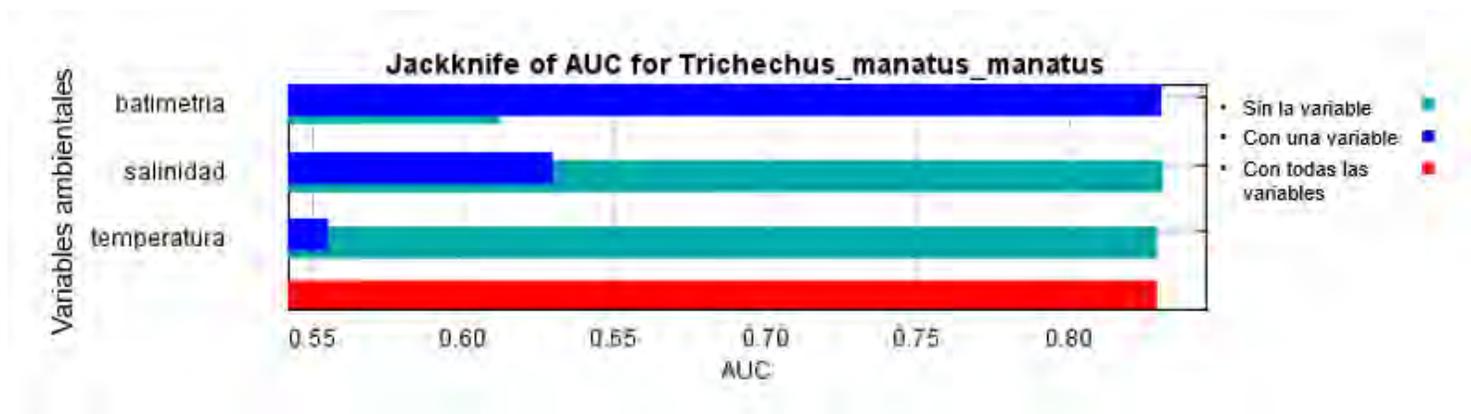
Anexo 3. Mapa de los sitios de referencia por las encuestas de la Bahía Ascensión y Bahía Espíritu Santo.



 Anexo 4. Resultados o datos de salida del modelo Maxent.

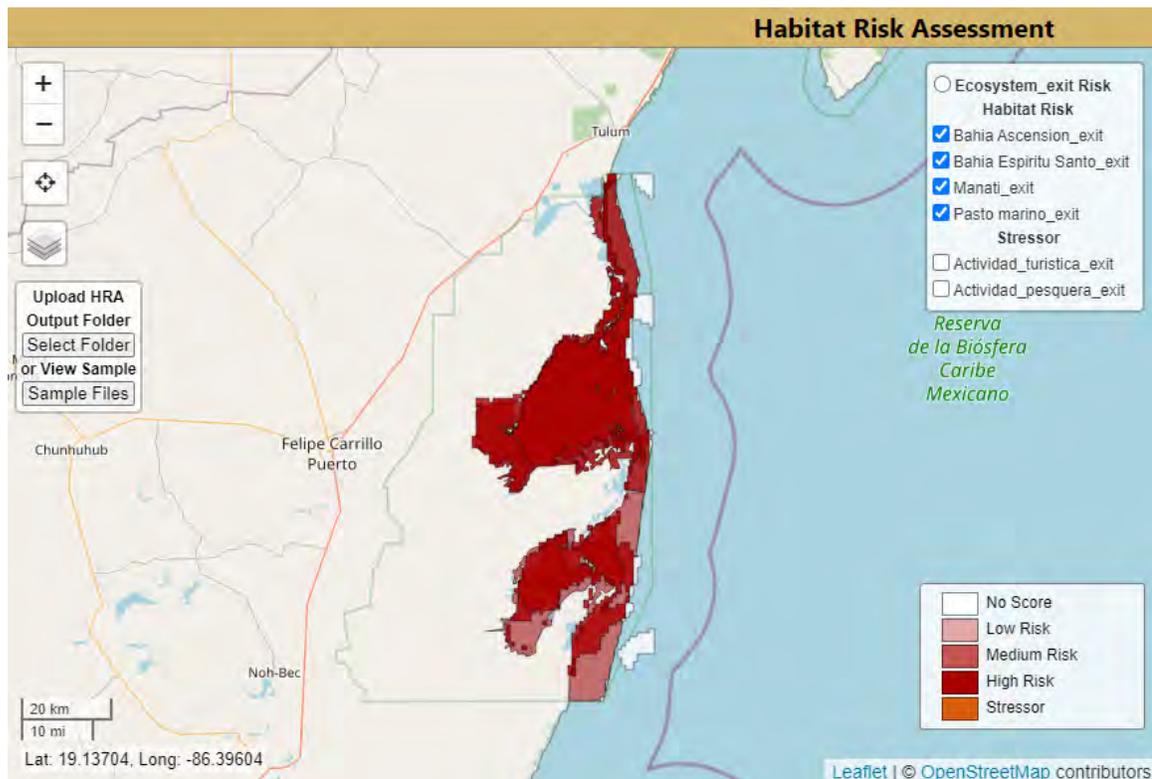


a) Mapa en formato ráster (.asc) con la probabilidad de ocurrencia del manatí en la RBSK.

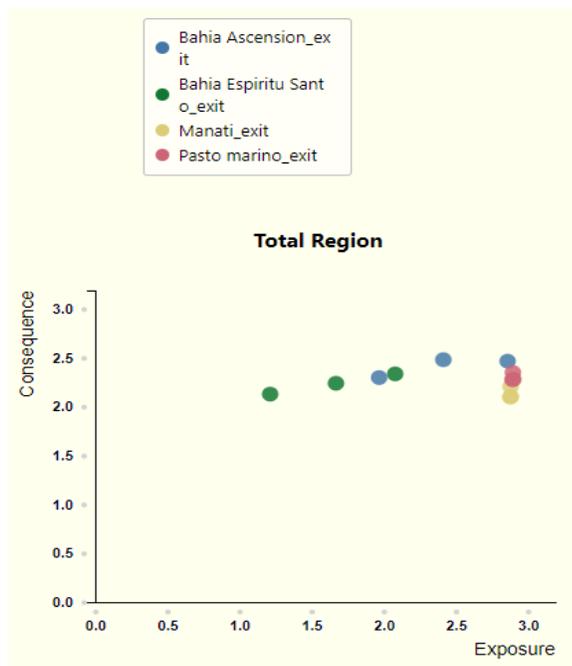


b) Prueba Jackknife del modelo con la contribución de cada variable. Valores con una variable más cercanos a uno, muestran una mayor construcción al modelo.

Anexo 5. Resultados o datos de salida GeoJSON para la visualización web por el modelo HRA de evaluación del riesgo del hábitat.



a) Mapa de visualización web del riesgo de colisión en la RBSK por el modelo HRA.



b) Puntuaciones de riesgo (exposición y consecuencia) para cada interacción con el hábitat del manatí y estresor.

Anexo 6. Aplicación de encuestas en las comunidades de Punta Allen y María Elena.

