

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

Caracterización del hábitat y detección del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) (Sirenia: Trichechidae) en cuerpos de agua del Caribe de Guatemala.

SEMINARIO DE INVESTIGACIÓN

Presentado por

Ana Lucía Escobar Cifuentes

Maria de Belen Chacón Paz

Para optar al título de

BIÓLOGAS

Guatemala, agosto 2024

JUNTA DIRECTIVA

Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Decano
M.Sc. Bessie Abigail Orozco Ramírez	Secretaria
Dr. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal I
Dr. Roberto Enrique Flores Arzú	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Carmen Amalia Rodríguez Ortiz	Vocal IV
Paola Margarita Gaitán Valladares	Vocal V

DEDICATORIAS

A Dios. Por darnos la vida y las oportunidades para concluir esta etapa, y por las etapas que se vienen.

A nuestros padres. Annabella, Carlos, Dora y Pedro, quienes siempre creyeron en nosotras y nos han brindado su apoyo incondicional toda la vida. Gracias por enseñarnos el valor del esfuerzo y la perseverancia; este no es un triunfo personal, sino un homenaje a todo lo que ustedes han hecho por nosotras. Agradecemos profundamente todo su amor, dedicación, sacrificio y enseñanzas que siempre nos han brindado. Su apoyo incondicional siempre nos inspirará a alcanzar muchas más metas en el futuro.

A nuestros hermanos, Carlos Andrés, Pedro Pablo y José Alberto, por ser nuestro ejemplo a seguir y por estar siempre presentes para nosotras en cada etapa de nuestras vidas. Gracias por sus consejos, por hacernos reír, por todo su cariño y por inspirarnos, apoyarnos, motivarnos y darnos ánimo cuando más lo necesitamos.

A nuestras familias, cuya presencia y apoyo constante han sido fundamentales en este proceso. Gracias por creer en nosotras y celebrarnos en cada logro.

A nuestros amigos. Quienes fueron un apoyo incondicional en cada etapa de la carrera. Gracias por dejarnos compartir a su lado tantas risas, alegrías, tristezas y momentos especiales. Cada clase, laboratorio, gira de campo y experiencia de la carrera no habrían sido lo mismo sin ustedes. Gracias por dejar una huella en nosotras y por darnos la confianza de poder ser nosotras mismas.

A Muhammad Mayén

AGRADECIMIENTOS

A Idea Wild Foundation, IUCN Species Survival Commission - Environment Agency ABU DAHBI y Panacetacea el apoyo financiero y de equipo brindado, sin el cual esta investigación no habría sido posible.

A la Fundación Defensores de la Naturaleza, sede Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic por su invaluable apoyo logístico y acompañamiento durante todas las etapas de esta investigación. En especial a los guardarrecursos Arnoldo Caal, Tulio Milla, Elmer Tun y Hugo Tiul por el acompañamiento, la disposición y el aprendizaje en el camino. A Rocío Paz, por su constante apoyo, confianza y compañía durante todo el proceso. Su amistad y su creencia en este proyecto fueron una fuente de motivación. Al Ingeniero Luis Barrientos, agradecemos su confianza, su visión y su apoyo incondicional en esta investigación.

A la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Izabal y Río Dulce (Amasurli), en especial a Maritza Aguirre por su disposición a ayudar en el proyecto de investigación, así como por el préstamo de equipo para llevar a cabo el trabajo de campo y permiternos el uso de las instalaciones de la entidad el tiempo que fue requerido. Asimismo, queremos agradecer a Don Hermán por hacernos sentir bienvenidas en todo momento.

Al Centro de Estudios Conservacionistas (CECON), sede Biotopo Universitario Chocón Machacas (BUCM). Principalmente a Mercedes Barrios, Oscar Santos y Mabel Vásquez por su apoyo en la logística y coordinación de las visitas a campo. Asimismo, a Natalia Escobedo de la Unidad de Biodiversidad, por facilitarnos el equipo necesario para llevar a cabo esta investigación. Y un agradecimiento especial a Mario Cobos por su acompañamiento y apoyo en campo.

A la Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación (FUNDAECO), sede Sarstún. En especial a los guardarrecursos Marcos Tiul, Iliana Castro y Samuel Yatz por su acompañamiento logístico y en campo, experiencia y disposición a apoyar.

Al Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), sede Parque Nacional Río Dulce por su apoyo logístico y por permitirnos trabajar en el área protegida.

A los tenientes de la División de Protección a la Naturaleza (DIPRONA), por su acompañamiento y apoyo durante la investigación.

Al Herbario USCG, por permitirnos ingresar los especímenes a la colección, por la facilidad de comunicación y excelente atención. En especial a Samanta Orellana y Maura Quezada.

A los evaluadores por pares: Sarah Landeo Yauri, Katerin Arévalo-González, Monica Estefhanny Paredes, Gissel Puc Carrasco, Stefan Arriaga Hernández y León Olivera-Gómez, por su colaboración en la evaluación de las imágenes capturadas con el SBL.

A Juan Pablo y Katalina, por su generosidad al facilitar nuestros traslados durante esta etapa. Su apoyo fue esencial para poder compaginar la investigación con nuestras vidas personales.

A Don Pedrito, por el apoyo incondicional. Su presencia en campo, siempre dispuesto a compartir risas y experiencias, fue valiosa para este trabajo. Su atención y cuidado hacia nosotras hicieron de esta experiencia algo inolvidable.

A Muhammad Mayén, por su invaluable apoyo con la identificación taxonómica de especies vegetales. Su contribución fue primordial para culminar con una de las fases de este proyecto de investigación. Personalmente, Ana Lucía Escobar, quiero agradecerte por todo tu amor, tu apoyo incondicional, tus consejos y en general por ser mi mayor soporte. Por ayudarme en todo momento y nunca dejarme sola. Gracias por motivarme, inspirarme y hacerme sentir que todo lo puedo. Agradezco inmensamente haber podido coincidir contigo en esta carrera.

A nuestra asesora, Fabiola Corona, por ser más que una guía académica. Agradecemos de todo corazón su apoyo constante, su acompañamiento, los conocimientos compartidos, sus consejos y por estar al pendiente, no solo del proyecto de investigación, sino de nuestro bienestar. No habríamos podido tener una mejor asesora de investigación. Gracias por inspirarnos y por motivarnos a superar cada obstáculo y a alcanzar nuestros objetivos.

A nuestro revisor Sergio Pérez, cuyo invaluable apoyo y guía fueron fundamentales en la elaboración y corrección de este manuscrito.

A todos nuestros/as profesores/as y auxiliares de cátedra, que nos han acompañado a lo largo de nuestra formación académica. Su dedicación, paciencia y compromiso no solo nos han brindado conocimientos valiosos, sino que también nos han transmitido pasión por la carrera.

A la **Universidad de San Carlos de Guatemala**, por ser nuestra casa de estudios y brindarnos la oportunidad de alcanzar una educación superior. Y por permitirnos conocer a personas excepcionales que hoy consideramos grandes amigos, compañeros, profesores y colegas.

A todas las personas que nos acompañaron y que estuvieron presentes en todo o en parte del proceso, les extendemos nuestro más sincero agradecimiento. Durante el camino, nos cruzamos con personas extraordinarias que, con su amistad, conocimientos y apoyo incondicional, hicieron de este recorrido una experiencia de aprendizaje invaluable. Su presencia fue fundamental para alcanzar esta meta, y por ello, les estamos profundamente agradecidas.

LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AMASURLI	Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca del Lago De Izabal y Río Dulce
BUCM	Biotopo Universitario para la Conservación del Manatí “Chocón Machacas”
CECON	Centro de Estudios Conservacionistas
CDC	Centro de Datos para la Conservación
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas
FUNDAECO	Fundación para el Ecodesarrollo y la Conservación
IAR	Índice de Abundancia Relativa
PNRD	Parque Nacional Río Dulce
RVSBP	Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic
SBL	Sonar de Barrido Lateral
SIGAP	Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USCG	Herbario Universidad de San Carlos de Guatemala

ÍNDICE

I. Resumen.....	1
II. Antecedentes.....	3
A. El manatí antillano.....	3
1. Descripción general.....	3
2. Distribución.....	3
3. Información disponible sobre tipo de hábitat.....	4
4. Detección del manatí en Guatemala.....	4
5. Amenazas y esfuerzos de conservación.....	4
B. Sonar de barrido lateral.....	7
1. Su uso como metodología alterna para la detección del manatí.....	8
2. Uso para la caracterización de hábitat.....	10
3. Ventajas de su uso comparado con otras metodologías.....	11
III. Justificación.....	13
IV. Objetivos.....	15
A. Generales.....	15
B. Específicos.....	15
V. Preguntas de investigación.....	16
VI. Materiales y Métodos.....	17
A. Universo de trabajo.....	17
B. Materiales.....	17
1. Recursos humanos.....	17
2. Equipo.....	18
C. Métodos.....	19
1. Área de estudio.....	19
2. Detección del manatí:.....	27
3. Caracterización del hábitat y análisis de covariables:.....	30

4. Análisis estadísticos:.....	31
5. Propuesta de protocolo de monitoreo de manatíes usando el sonar de barrido lateral.....	34
VII. Resultados.....	35
A. Detección del manatí.....	35
B. Caracterización del hábitat del manatí.....	40
C. Correlación entre variables fisicoquímicas del agua.....	52
D. Modelos de presencia/ausencia.....	52
E. Modelos de detecciones.....	53
F. Asociación entre la presencia de manatíes con las variables de respuesta.....	56
VIII. Discusión.....	59
IX. Conclusiones.....	73
X. Recomendaciones.....	75
XI. Referencias Bibliográficas.....	76
XII. Anexos.....	83

I. Resumen

En Guatemala, el manatí antillano habita en el Lago de Izabal, Río Dulce, Río Sarstún y en las costas del Caribe. Actualmente, no existen estudios sobre el manatí realizados en los ríos tributarios del Lago de Izabal y Río Dulce, los cuales pueden brindar condiciones heterogéneas favorables para su presencia. El objetivo del estudio fue determinar la presencia de manatíes y caracterizar su hábitat en ríos de aguas oscuras del Caribe de Guatemala. Se realizaron recorridos acuáticos de agosto a noviembre de 2022 en los ríos Oscuro, Lagartos, Ciénega, Chocón Machacas y Sarstún, dentro de las áreas protegidas Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, Parque Nacional Río Dulce, Biotopo Universitario Chocón Machacas y Área de Usos Múltiples Río Sarstún, mediante transectos entre seis y quince kilómetros de longitud. Se utilizó una metodología mixta para la detección de manatíes, que incluía el uso de un sonar de barrido lateral (SBL), avistamiento directo y registro indirecto de su presencia. Se midieron variables fisicoquímicas y antropogénicas en cada río. El esfuerzo de muestreo fue de 84 horas; el índice de abundancia relativa (IAR = manatíes/km) fue mayor en los ríos Sarstún y Lagartos, siendo 0.37 y 0.38, respectivamente. Según los GLM realizados, se obtuvo que los modelos que mejor explican la presencia de manatíes en todos los ríos son la cantidad de lanchas con motor y sin motor. En cambio, el modelo que mejor explica la cantidad de detecciones de manatíes en todos los ríos es la profundidad, conductividad y cantidad de lanchas con motor y sin motor. De las variables mencionadas, únicamente la conductividad mostró variación entre los meses de muestreo. Sin embargo, se encontró asociación entre la presencia de manatíes y temperaturas medias del agua (25.9°C a 28.4°C). Asimismo, se encontró asociación entre la presencia de manatíes y la cantidad alta de lanchas sin motor (9 a 12 lanchas). En la mayoría de ríos fue constante la presencia de embarcaciones en todos los meses de muestreo, principalmente en las desembocaduras de los mismos. La mayoría de estos están relacionados con las actividades económicas, tal como la pesca y el transporte. En campo se observó que en los ríos Oscuro y Lagartos el arte de pesca más utilizado eran las redes de arrastre. Mientras que el río Sarstún, se caracterizó mayormente por la pesca con atarrayas y anzuelos. El tipo de fondo en todos los ríos en su mayoría es arenoso con presencia de vegetación sumergida y dispersa, la vegetación flotante y de las orillas es abundante; el bosque latifoliado y humedal con bosque es el principal tipo de uso de suelo circundante.

Los resultados indican que los manatíes usan los ríos tributarios del Lago de Izabal, Río Dulce y el Caribe, lo cual podría deberse principalmente a las condiciones de temperatura, profundidad de los ríos y vegetación. Se considera que la alta influencia antropogénica podría estar afectando la presencia de la especie, principalmente el tráfico de embarcaciones y el uso de redes de pesca. Se recomienda fortalecer las actividades de manejo y vigilancia en las áreas protegidas.

Palabras clave: Sirenia, Conservación, Amenazas antropogénicas, Sonar de barrido lateral, Índice de abundancia relativa (IAR).

II. Antecedentes

A. El manatí antillano

1. Descripción general

El manatí antillano (*Trichechus manatus manatus* L. 1758) es una de las subespecies del manatí americano (*T. manatus*), pertenece al Orden Sirenia y a la Familia Trichechidae (Reynolds III *et al.*, 2002). Es un mamífero acuático que posee un cuerpo fusiforme con una cola aplanada dorsoventralmente y aletas anteriores con función de propulsión, movimiento y estabilización en el agua (Husar, 1978). Los adultos pueden llegar a medir los cuatro metros de largo, y pesar hasta 500 kg, y las crías pueden medir más de un metro de largo, con un peso aproximado de 30kg (Reynolds III *et al.*, 2002). No suelen presentar dimorfismo sexual, sin embargo, las hembras generalmente son de mayor tamaño que los machos (Husar, 1978; Hartman, 1979).

Son animales pasivos y solitarios, encontrados en algunas ocasiones en parejas o grupos de hasta 13 individuos, pero varían según la época y la actividad reproductiva (Hartman, 1979). Son herbívoros, y se alimentan de diversas plantas acuáticas, tanto sumergidas como flotantes (Husar, 1978). Necesitan consumir aproximadamente el 8% de su peso corporal para los requerimientos diarios, poseen un metabolismo lento, el cual les permite vivir en ambientes con pocos nutrientes (Hartman, 1979; Gonzalez-Socoloske, 2007).

2. Distribución

El manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) se distribuye en las costas del Caribe de México, en las Antillas Mayores, en el Caribe centroamericano y en Sudamérica (Reynolds III *et al.*, 2002). Se encuentra desde el Golfo de México hasta la costa atlántica de Brasil. Habita en ecosistemas dulceacuícolas, estuarinos y marinos, y puede

movilizarse libremente entre estos (Husar, 1978). Aunque su distribución se limita a las costas por su necesidad de ingerir agua dulce (Olivera-Gómez & Mellink, 2005; Corona-Figueroa et al., 2021). Además, debido a su baja tasa metabólica y alta conductividad térmica, la especie se encuentra restringida a zonas tropicales y subtropicales, ubicadas entre latitudes cuya temperatura media es de 24°C, ya que no toleran aguas con temperatura por debajo de 17-19°C (Gallivan y Best, 1980, como se citó en Daniel *et al*, 2012).

3. Información disponible sobre tipo de hábitat

La especie habita en profundidades de 1.5 a 5 m y se encuentran tanto en aguas claras como turbias. En hábitats dulceacuícolas, la especie se asocia a ríos, ciénagas y zonas inundables, debido a que en estos encuentra alimento como macrófitas acuáticas y semiacuáticas (Quintana-Rizzo y Machuca, 2008). En hábitats estuarinos o marinos, los manatíes se encuentran asociados a manglares (Machuca, 2015).

4. Detección del manatí en Guatemala

En Guatemala, la especie se distribuye únicamente en el departamento de Izabal, específicamente en los municipios de El Estor, Livingston, Morales, Los Amates y Puerto Barrios. En Izabal, los cuerpos de agua de mayor importancia para la especie son el lago de Izabal, el río Sarstún, el Golfete, la bahía La Graciosa, el humedal formado en la desembocadura del río Polochic, la bahía Santo Tomás de Castilla, el río Oscuro y el conjunto de lagunas ubicadas en la desembocadura del río Chocón Machacas (Machuca y Corona, 2019).

5. Amenazas y esfuerzos de conservación

Los factores antropogénicos son la principal amenaza del manatí antillano en Guatemala, y probablemente estén relacionados con los casos de mortalidad de los ejemplares de manatíes en el país (Corona, 2012). Estas amenazas se pueden resumir en cacería ilegal, uso de artes

de pesca ilegales, tránsito de embarcaciones y deterioro del hábitat (Machuca y Corona, 2019). De estas, la cacería se considera la principal amenaza para el manatí en Guatemala. Del Valle (2001), por medio de entrevistas con los pobladores, reportó que la carne de manatí se vende de forma ilegal en mercados de la región e incluso, ocasionalmente, en viviendas. Según los reportes, esto ocurre más frecuentemente en las comunidades de La Pintada en Río Dulce, San Juan, Livingston y en la Bahía La Graciosa.

El uso de artes de pesca ilegales, tal como las redes de arrastre, así como el uso no regulado de redes de pesca y trasmallo también representan una gran amenaza para el manatí, principalmente en el Lago de Izabal. Esto es debido a que los manatíes quedan atrapados accidentalmente en las redes, lo que puede ocasionarles lesiones al tratar de escapar, principalmente en los labios y aletas, o causarles la muerte por asfixia (Herrera et al, 2004; Machuca y Corona, 2019).

El tránsito de embarcaciones con motor es una amenaza latente para los manatíes, ya que puede golpearlos o lesionarlos, además que incrementa la turbidez del agua, el ruido subacuático y causa el deterioro de la vegetación acuática de la cual se alimentan, disminuyendo la calidad de su hábitat (Del Valle, 2002). También puede afectar sus patrones de comportamiento, al interrumpir los procesos de comunicación entre los individuos, además de provocar su desplazamiento hacia otras áreas y cambios drásticos en el desarrollo de las actividades normales de la especie (Machuca y Corona, 2019).

Otros factores que contribuyen a la pérdida del hábitat del manatí son la deforestación, la sedimentación y la alteración de las cuencas y de su cauce. La destrucción del hábitat también es propiciada por la contaminación, ya sea por el incremento de la sedimentación de los ríos o por la contaminación de cuerpos de agua por desechos municipales y

vertidos de los buques, así como de aguas residuales y agroquímicos (Herrera et al, 2004; Machuca y Corona, 2019).

Ante las inminentes amenazas que enfrenta el manatí, se han tomado medidas para garantizar su protección. Entre ellas, el Acuerdo Presidencial de 1981, vigente en la actualidad, en el cual se declara ilegal la caza de esta especie (Diario de Centroamérica, 1981). De igual forma, los artículos 80 y 81 de la Ley General de Pesca prohíben la pesca de mamíferos en peligro de extinción (Diario de Centroamérica, 2002). Otra acción que ha favorecido la conservación del manatí es la creación de áreas protegidas, por medio de Decreto 4-89 o Ley de Áreas Protegidas (Herrera et al, 2004).

En Izabal se encuentran seis áreas protegidas legalmente reconocidas que coinciden con el área de distribución de la especie y que son administradas por varias instituciones de Izabal en conjunto con el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap). Estas son: 1) Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, localizada en el municipio de El Estor al sur del lago de Izabal y coadministrada por la Fundación Defensores de la Naturaleza. 2) Parque Nacional Río Dulce (PNRD) en el municipio de Livingston, en la zona Golfete. 3) Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil, en los municipios de Livingston, Puerto Barrios y Morales y coadministrada por el Consorcio Fundación para el Ecodesarrollo y Conservación (Fundaecco). 4) Biotopo Universitario Chocón Machacas (BUKM), también situada en la zona del Golfete, es coadministrada por la Universidad de San Carlos de Guatemala. 5) Refugio de Vida Silvestre Punta de Manabique (RVSPM), ubicada en el municipio de Puerto Barrios, y 6) Área de Uso Múltiple río Sarstún (AUMRS), situada en el municipio de Livingston, es coadministrada por Fundaecco y la asociación Amantes de la Tierra (Herrera *et al*, 2004; Machuca y Corona, 2019).

En 2004 se publicó un documento técnico llamado “Estrategia Nacional para la Conservación del Manatí”, cuyo principal interés es proponer acciones para el manejo y protección del hábitat del manatí y las zonas de influencia en la región, así como proteger y monitorear la población actual de manatíes que se distribuye en Guatemala. En dicha Estrategia Nacional se promueve la protección del manatí por medio de investigación, legislación, educación y capacitación ambiental, fortalecimiento institucional, manejo de áreas silvestres, desarrollo urbano, uso sostenible del suelo y mejoramiento del hábitat, turismo sostenible y monitoreo y evaluación (Herrera et al, 2004). También se ha promovido la protección de la especie a través de estudios de la misma, planes de manejo, protocolos de monitoreo y fortalecimientos institucionales (Del Valle, 2002; Quintan-Rizzo y Machuca, 2008; Quintana-Rizzo & Reynolds III, 2010; Machuca, 2011; Machuca, 2017; Machuca y Corona, 2019)

B. Sonar de barrido lateral

Las investigaciones en ambientes acuáticos han contado con metodologías de detección acústicas, el uso de equipo de navegación y rango de sonido, conocido como sistema de SONAR, para estudios de densidad de peces, por Dickerson y colaboradores (1996). Asimismo, se ha empleado para el estudio de mamíferos marinos, desde delfines como *Tursiops truncatus*, hasta ballenas como *Megaptera novaeangliae*; con los delfines observaron que la detectabilidad era más eficiente cuando la orientación del cuerpo que era reflejada por la acústica estaba entre la parte dorsal y pectoral, especialmente donde los pulmones se encuentran (Gonzalez-Socoloske & Olivera-Gomez, 2012; Gonzalez-Socoloske, Olivera-Gomez & Ford, 2009).

Con base en la eficiencia de detectabilidad, se empleó la misma metodología de objetivo acústico dorsal para manatíes, sin embargo, la detección no era consistente, sugiriendo así que la piel gruesa del manatí servía como un reflector especular a ciertas frecuencias, por lo que no era

posible detectar los organismos exitosamente (Dickerson *et al*, 1996; Gonzalez-Socoloske & Olivera-Gomez, 2012). Por lo tanto, para los manatíes se ha utilizado una metodología de escaneo lateral, que consiste en la producción de una imagen con la señal acústica al moverse en una dirección lineal, que genera un pulso con ángulo amplio perpendicular al movimiento del sensor, obteniendo así una cobertura de 180°(Gonzalez-Socoloske *et al*, 2009). Además de la detección de organismos acuáticos se ha empleado para la caracterización del ambiente marino, estudio de tipo de suelos acuáticos, y comportamiento animal bentónico, brinda información complementaria de características eco-hidrológicas, como temperatura y profundidad (Corona-Figueroa *et al*, 2021).

1. Su uso como metodología alterna para la detección del manatí

El uso del sonar de barrido lateral surgió como metodología alterna en la detección de manatíes para muestreos en aguas oscuras y turbias. Asimismo, al ser un método no invasivo, permite estudiar las poblaciones de organismos y contribuye a la conservación de la especie (Gonzalez-Socoloske & Olivera-Gomez, 2012). La mayoría de cuerpos de agua y costas de Guatemala, Honduras y México presentan turbidez y poca visibilidad de los fondos acuáticos, lo que dificulta muestreos y detección de poblaciones. Así, la poca detectabilidad genera muestreos con sesgos, poco eficientes y exitosos con respecto a transectos en lanchas y motores. Asimismo, los muestreos aéreos pueden resultar costosos y poco eficientes, esto por la poca probabilidad de confirmación de presencia de manatíes.

Gonzalez-Socoloske y colaboradores (2009) probaron la eficiencia del uso del sonar de barrido lateral de *T. m. latorostris* y *T. m. manatus* en tres localidades diferentes, con el fin de comparar la eficiencia de detectabilidad en sitios con condiciones ambientales y físicas diferentes. En Honduras, con aguas turbias y oscuras, y México y Florida, con aguas

claras que permiten una fácil detección de la especie a través de la superficie. Concluyeron que el sonar de barrido lateral es ideal bajo ciertas condiciones ambientales, y que puede ser una alternativa a los muestreo aéreos y de botes en ambientes silvestres, con aguas opacas y turbias.

Más investigaciones destacan con fines de resumir los usos, ventajas y desventajas del sonar de barrido lateral, como Gonzalez-Socoloske y Olivera-Gomez (2012). En donde resumen los esfuerzos que se han hecho para el estudio y detección de manatíes con la tecnología del sonar, así como los beneficios y alternativas que brinda a las prácticas comunes que contribuyen a la conservación de las poblaciones.

Entre otras investigaciones enfocadas a la afectación del hábitat y distribución de manatíes por factores eco-hidrológicos está la de Corona-Figueroa, *et al*, 2021, en la que utilizaron la metodología de sonar de barrido lateral complementario a avistamientos, y se confirmó la presencia de individuos por rastros directos, como observación de cola, hocico o lomo en la superficie, y rastros indirectos, como burbujas, suspensión del sedimento o formación de estelas. Además, se empleó el sonar para el registro de dirección, fecha, coordenadas, profundidad, y tipo de fondo, como variables adicionales durante la detección.

Guzman & Condit (2017) realizaron un estudio de abundancia de manatíes en Panamá con el fin de conocer el estado de las poblaciones, estimado por medio del sonar de barrido lateral. Realizaron la detección de manatíes, el mapeo de sus ubicaciones y la conversión de los avistamientos en datos cuantitativos de ocurrencia. El conteo de individuos depende de la detectabilidad, por lo que realizaron correcciones de la tasa de detectabilidad y encontraron imprecisión en la densidad calculada de datos por corrección de 40m del núcleo de transectos lineares utilizados. Concluyeron así que una mejor detección

para investigaciones posteriores sería colocando etiquetas de telemetría en organismos o muestreos aéreos para áreas grandes. Asimismo, determinaron que la abundancia de organismos varía según temporadas, por lo que mencionaron importante el continuo monitoreo para estimar tendencias de población y la estacionalidad.

2. Uso para la caracterización de hábitat

Estudios del hábitat como identificación de tipos de sustratos, presencia de vegetación y caracterización contribuyen al conocimiento de la ecología y requerimientos necesarios de los organismos (Corona Figueroa, 2019). En aguas turbias con poca transparencia resulta difícil conocer el hábitat acuático en el cual los organismos se desarrollan, es por eso que la tecnología de sonar de barrido lateral es una ventaja en sistemas fluviales opacos.

McLarty y colaboradores (2019) emplearon el sonar de barrido lateral con la finalidad de identificar sustratos en un sistema de lagunas salobres, área de presencia de manatíes en Isla de Juventud, Cuba. Utilizando las grabaciones del sonar crearon mapas de sustratos bentónicos divididos por zonas, al igual que mapas batimétricos e identificaron cinco tipos de sustratos con diferentes precisiones, como: pastos marinos densos, pastos marinos dispersos, suelo de manglar, suelo de manglar con rocas y limo. Concluyeron la eficacia del sonar para identificación de sustratos bentónicos en aguas poco visibles, y aporta el conocimiento de patrones de uso de manatíes en el área.

Otro ejemplo es el estudio de Corona Figueroa (2019) donde se caracterizaron y determinaron variables eco-hidrológicas que influyen en el uso del hábitat y presencia de manatíes en Río Hondo, México. Complementaron información del ambiente por el uso de sonar de barrido lateral para identificar los tipos de fondo, en donde encontraron: manglares, pastos densos, pastos dispersos y sustrato de limo,

presentados en imágenes obtenidas por el sonar de barrido lateral (Figura 12). Mencionan que los transectos con mayor probabilidad de presencia de manatíes estuvieron caracterizados por bosque de manglar y pastos densos, en conjunto con variables de conductividad y profundidad bajas.

Gonzalez-Socoloske y Olivera-Gomez (2012) mencionan en su revisión el uso del sonar de barrido lateral para la caracterización del hábitat, recalcando su importancia en determinar contornos, texturas y profundidad del fondo acuático en ambientes donde habita el manatí. Hacen un resumen de capturas del fondo en el sonar de barrido lateral, ejemplificando cómo se podrían ver los diferentes fondos, entre estos representan: fondo poco profundo y sedimento blando, vegetación submarina, troncos sumergidos en sedimentos del fondo, ramas sumergidas y cubiertas de sedimento, sustrato con fondo rocoso duro, y sedimento liso (Figura 13).

3. Ventajas de su uso comparado con otras metodologías

Estudios de Gonzalez-Socoloske y colaboradores en 2009 y 2012, realizaron revisiones del uso de sonar de barrido lateral como metodología alternativa en el estudio de manatíes. Entre las ventajas mencionan que al ser un equipo compacto, son fáciles de manejar y transportar; el equipo brinda información adicional del ambiente circundante, entre estos, la profundidad, la fecha, hora, coordenadas, temperatura, velocidad, y tipos de sustratos en el fondo, las cuales pueden aportar información valiosa en la preferencia de hábitat para el manatí (Corona Figueroa, 2019).

Otra característica importante del equipo es la pantalla adjunta, que permite hacer grabaciones y escaneos al momento de los muestreos, para así mantener un control en la detección de objetos acuáticos, transectos y el fondo acuático, las capturas de imagen y grabaciones de recorridos permiten revisar nuevamente lo detectado en muestreos y verificar la

presencia de individuos según estándares para la selección de manatí, asimismo se puede comparar con imágenes capturadas de sonar con detección de manatíes de otros estudios (Figuroa Corona, 2019; Gonzalez-Socoloske y Olivera-Gomez, 2012). De igual forma, McLarty y colaboradores (2019) reportan que la tecnología del sonar de barrido lateral facilita la colecta de datos para clasificar tipos de suelos y caracterización del hábitat.

Gonzalez-Socoloske, *et al* (2009), Puc-Carrasco, *et al* (2016) y Corona-Figuroa, *et al* (2021) señalan la alta tasa de detección de individuos de manatí, mayor al 80%, según los rangos laterales del haz del sonar. Cabe recalcar nuevamente la ventaja como método complementario a los avistamientos tradicionales, especialmente en cuerpos de agua opacos o turbios que sirven como confirmación de presencia de organismos. Sumado a esto, otra característica del sonar es la capacidad de hacer muestreos nocturnos, ya que no se depende de la luz en su utilización (Gonzalez-Socoloske, *et al*, 2009); se ha evidenciado la preferencia de los manatíes por ser activos y alimentarse durante la noche para evitar cacería humana, asimismo se han recomendado muestreos nocturnos para estudios de detección de manatíes para aumentar la probabilidad de registros (Machuca, 2015).

III. Justificación

El manatí está clasificado como especie en peligro de extinción en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la IUCN (Self-Sullivan & Mignucci, 2008). Además, se encuentra en la categoría 1 del Listado de Especies Amenazadas de Fauna Silvestre de Guatemala (LEA) del CONAP. En dicha categoría se encuentran las especies en peligro crítico o en vías de extinción, las cuales únicamente pueden ser utilizadas para investigación científica y para proyectos con fines de reproducción (Diario de Centro América, 2021). La especie también se encuentra en el apéndice I de la Convención Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres -CITES-, en el cual se incluyen todas las especies en peligro de extinción que son o pueden ser afectadas por el comercio (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres [CITES], 2021).

En los últimos años se han realizado varios estudios de la población de manatíes en Guatemala, principalmente en el sistema acuático Lago de Izabal-Río Dulce y en las costas del Atlántico (Quintana-Rizzo, 1993; Del Valle, 2001; Del Valle, 2002; Quintana-Rizzo y Machuca, 2008; Quintana-Rizzo & Reynolds III, 2010; Machuca, 2011; Corona, 2012; Machuca, 2015; Machuca, 2017; Machuca y Corona, 2019).

Sin embargo, no hay estudios realizados en los ríos tributarios del sistema Lago de Izabal - Río Dulce. Según un estudio realizado por Corona-Figueroa, *et al.* (2021), los ríos tributarios a lo largo de su cauce ofrecen condiciones heterogéneas favorables para la presencia de manatíes. En Guatemala se ha demostrado que el suroeste del Lago de Izabal, comprendida por Cayo Padre, río oscuro y Punta Chapín, es un área de importancia para el manatí, especialmente para las crías, debido a la presencia de numerosos canales y ríos poco profundos, así como plantas acuáticas como *Pistia stratiotes*, y *Nymphaea ampla*, incluyendo especies exóticas e invasoras como *Hydrilla verticillata* (Machuca, 2015). Otros sitios considerados de importancia para el manatí son el río Sarstún, el Golfete, la bahía La Graciosa, el humedal formado en la desembocadura del río Polochic, la bahía Santo Tomás de Castilla y el conjunto de

lagunas ubicadas en la desembocadura del río Chocón Machacas (Quintana-Rizzo y Machuca, 2008; Machuca y Corona, 2019).

Además, los monitoreos que se han realizado en Guatemala han sido principalmente aéreos y de avistamientos con embarcaciones, que resultan poco eficientes, demandan rigurosidad y mucho tiempo en campo. Asimismo, el tiempo que se permanece en lanchas se traduce en altos costos de gasolina. La metodología tradicional se ve afectada en sistemas fluviales opacos y turbios que dificultan la detección y confirmación de presencia de individuos de manatí. Esto, sumado a la dificultad natural de detección de poblaciones de manatíes, los cuales permanecen debajo de la superficie mayormente por hábitos de alimentación o descanso (Gonzalez-Socoloske y Olivera-Gomez, 2012), es la razón por la cual se plantea el método y tecnología del sonar de barrido lateral. Este método es alterno y complementario en la detección de individuos de manatí, con altos rangos de detección, facilidad de uso y la capacidad de obtener información adicional en los muestreos, como características físicas y ambientales del hábitat de la especie de interés.

Las amenazas que afectan al manatí y a su hábitat siguen latentes, por lo que es necesaria la actualización de la Estrategia Nacional para la Conservación del Manatí, publicada en 2004. De modo que la presente investigación propone una actualización de información de la población de manatíes que se distribuyen en el sistema del Lago de Izabal, Río Dulce y ríos tributarios, por medio de tecnología innovadora que aportará información y facilitará metodologías futuras con la finalidad de actualizar estrategias nacionales para la conservación especies amenazadas y su hábitat en Guatemala.

IV. Objetivos

A. Generales

1. Determinar la presencia de manatíes y la caracterización de su hábitat en los ríos de aguas oscuras del Caribe de Guatemala.

B. Específicos

1. Determinar la presencia de manatíes en ríos de aguas oscuras del Caribe de Guatemala.
2. Caracterizar el hábitat del manatí antillano mediante variables ambientales (físicas del agua: temperatura, profundidad y transparencia; químicas del agua: pH, conductividad, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, salinidad y total de sólidos disueltos), tipo de fondo y tipo de cobertura del área de influencia del río.
3. Determinar si existe asociación entre la presencia de manatíes en función de las variables ambientales y antropogénicas (presencia de embarcaciones y redes de pesca).
4. Proponer un protocolo de monitoreo de manatíes en ríos de aguas oscuras mediante el sonar de barrido lateral.

V. Preguntas de investigación

- ¿Los manatíes hacen uso del hábitat de los ríos adyacentes a los cuerpos de agua principales?
- Con base en la presencia del manatí dentro de estos ríos ¿es posible inferir preliminarmente si hacen uso de los hábitats, como sitio para refugio, crianza, alimentación y/o reproducción?
- ¿Existe alguna asociación entre la presencia de los manatíes y las variables ambientales, atmosféricas y antropogénicas?
- ¿Qué variables influyen en la presencia de manatíes en los ríos Lagartos, Oscuro, Chocón Machacas, Ciénaga y Sarstún?

VI. Materiales y Métodos

A. Universo de trabajo

1. Población de manatíes de Guatemala, que se distribuyen en el sistema del Lago de Izabal, Río Dulce y el Caribe de Guatemala.
2. La muestra son los manatíes presentes en los ríos tributarios del Lago de Izabal, Río Dulce y río Sarstún: río Lagartos, río Oscuro, río Chocón-Machacas, río Ciénega y río Sarstún.
3. Unidad muestral: cada uno de los kilómetros a muestrear en los cinco ríos, como secciones homogéneas.
4. VARIABLES DEPENDIENTES: ocupación, distribución, detección y presencia de los manatíes, índice de abundancia relativa de manatíes.
5. VARIABLES INDEPENDIENTES: mes de muestreo; transecto, Covariables: variables físicoquímicas del agua (temperatura, turbidez, profundidad, transparencia, pH, conductividad, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, salinidad y total de sólidos disueltos), tipo de fondo, cobertura del área de influencia; variables atmosféricas (temperatura, precipitación), variables antropogénicas (presencia de embarcaciones; redes de pesca).

B. Materiales

1. Recursos humanos

- a) 2 investigadores principales (Escuela de Biología)
- b) Al menos 1 guardarrecursos de cada institución (Defensores de la Naturaleza/AMASURLI/FUNDAECO)
- c) 1 asesora (Mildred Fabiola Corona Figueroa, Investigadora asociada CDC-CECON/USAC)

2. Equipo

- a)** 1 lancha con motor de 25 HP
- b)** 1 sonda multiparamétrica portátil
- c)** 1 cámara fotográfica
- d)** 1 cámara GoPro para fotos subacuáticas
- e)** 1 GPS
- f)** 1 sonar de barrido lateral
- g)** 1 disco Secchi
- h)** Cinta métrica
- i)** Libreta de campo
- j)** Marcadores indelebles
- k)** 1 computadora
- l)** Programa estadístico R
- m)** Programa ArcGis 10.3.8
- n)** Programa QGis 3.20.2

C. Métodos

1. Área de estudio

a) Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, El Estor

Localizado en el municipio de El Estor, Izabal. Es un humedal formado por la desembocadura del río Polochic. Se encuentra en la zona de vida clasificada por Holdridge como “bosque muy húmedo subtropical cálido”. El clima es cálido y húmedo con temperatura máxima de 32 °C y la mínima de 20 °C, con un promedio anual de 25.2 °C. La humedad relativa oscila entre 75 y 100%. La lluvia es orográfica, de moderada a intensa y bien distribuida a lo largo del año.

El área se caracteriza por vegetación abundante terrestre, epífita, y acuática, dentro de las especies predominantes se puede mencionar: Zapotón (*Pachira aquatica*), Icacó (*Chrysobalanus icaco* L.), Ninfa (*Nymphaea ampla*), Barillo (*Symphonia globulifera*), Lechuga de agua (*Pontederia rotundifolia*), Lechuguilla (*Pistia stratioides*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y entre otras. (Villar, 1992) (Fundación Defensores de la Naturaleza, 2003).

(1) Río oscuro [15.3666667, -89.3333333]

Se encuentra localizado del lado sur en el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, en la denominada Área Primitiva. Tiene una longitud aproximada de 7 km y de 30 metros de ancho en promedio; forma una confluencia con el río Chinebal (Quintana Rizzo, 1993), y una intersección con el río Selepím, que se dirige a la comunidad Selepím y a la infraestructura de la Estación Científica Selepím, en el área sur de El Estor. Se

caracteriza por la vegetación abundante en orillas, principalmente con bosques altos densos, especies epífitas y acuáticas flotantes (Fundación Defensores de la Naturaleza, 2003). En cercanías y al lado sur del río Oscuro se encuentra la plantación de monocultivo de palma africana (*Elaeis* sp.) (Machuca y Corona, 2019), extendido en gran parte de comunidades aledañas.

(2) **Río Lagartos** [15.4906285, -89,3971052]

Se encuentra localizado del lado norte en el Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic, en la denominada Zona de Recuperación. La desembocadura se caracteriza por la Ensenada Lagartos, tiene una longitud de 6 km aproximadamente a lo largo de sus arroyos tributarios navegables. Se caracteriza por ser un bosque inundado, con abundante vegetación en las orillas, y especies acuáticas (Fundación Defensores de la Naturaleza, 2003). En cercanías de la Ensenada Lagartos se encuentran proyectos extractivos de minería, con grandes extensiones de terreno con material de desecho por los procesos de la misma.

b) Río Dulce

Localizado en el municipio de Livingston, Izabal. Posee una longitud total de 42 km aproximadamente, extendiéndose desde el Castillo de San Felipe hasta la desembocadura en el Océano Atlántico. Este posee distintas anchuras: en la desembocadura de 1.3 km, en la parte angosta 15 m y en el Golfete 9 km (Quintana Rizzo, 1993). La parte más profunda del Río Dulce alcanza hasta 50 metros de profundidad. El agua del río tiene altos valores de materia orgánica, pH ácido y color oscuro (Quan y Morales, 2004).

Existen dos vertientes principales que desembocan en Río Dulce, la vertiente San Gil y Santa Cruz. La vertiente San Gil se ubica en la parte sur de Río Dulce y contiene 14 ríos que desembocan en el mismo. De igual forma, del lado norte de Río Dulce desembocan 14 ríos de la vertiente Santa Cruz (Quan y Morales, 2004).

La principal vegetación acuática reportada para Río Dulce incluye *Hydrilla verticillata*, *Pistia stratiotes*, *Nymphaea ampla*, *Najas gramínea*, *N. guadalupensis*, *Potamogeton foliosus*, *P. illinoensis*, *Vallisneria americana*, *Cabomba* sp. y *Ceratophyllum* sp. (Romero, 2007).

En el área de Río Dulce se encuentran múltiples áreas protegidas, entre ellas el Biotopo Universitario Chocón Machacas (BUCM) y el Parque Nacional Río Dulce (PNRD).

(1) Río Chocón-Machacas [15.7529662, -88.8760216]

Se encuentra en el Biotopo Protegido Chocón Machacas, el cual se localiza en los límites geográficos del Parque Nacional Río Dulce. Sin embargo es un área independiente a ésta (CDC/CECON, 1995). La cuenca relacionada abarca 3,400 km², que incluyen montañas elevadas y terrenos inundables (Ponciano, *et al*, 1980).

El clima del Biotopo es cálido y muy húmedo, la temperatura media es de 27° C, con variaciones de hasta 9° C entre la máxima y la mínima, que en las épocas más frías no suelen bajar de 18° C (CDC/CECON, 1995). Al interior del Biotopo se localiza el río Chocón Machacas, que divide el centro del área protegida, así como también siete ríos (o “creeks”) y cinco lagunas; el área está limitada por el río Ciénega, al oeste, y Río Dulce, en la parte sur

(Parkswatch, 2003). La región es considerada como área de influencia está determinada por el hábitat del manatí (Ponciano, *et al*, 1980).

Según la clasificación de Holdridge, el biotopo se encuentra en un bosque muy húmedo tropical (Ponciano, *et al*, 1980). La vegetación es característica de zonas inundables, es heterogénea y abundante para especies terrestres y acuáticas. Dentro de los hábitats que se encuentran son: bosque bajo inundable, el bosque alto, y el bosque de manglar (Pérez *et al.*, 2001). Los terrenos inundables representan más del 50% del área protegida. Se ha reportado y documentado que el área protegida y río Chocón Machacas han sido intervenidos por el impacto antropogénico, entre ellos la plantación de pastizales y terrenos agrícolas, así como asentamientos ilegales (Parks Watch, 2003).

El río Chocón Machacas tiene más de 50 km de largo, de los cuales 46 km son navegables. La desembocadura del río tiene una profundidad mayor a 8 metros. Y solamente la zona de desembocadura se encuentra dentro del área protegida, aproximadamente 9 km (Ponciano, *et al*, 1980).

La vegetación del área se caracteriza por la presencia de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), barillo (*Symphonia globulifera*), Santa María (*Calophyllum brasiliense*) y zapotón (*Pachira aquatica*) (Parkswatch, 2003). En algunos lugares ribereños se encuentran formaciones arbustivas bien establecidas de *Chrysobalanus icaco* (Pérez *et al.*, 2001). En las comunidades acuáticas se destacan asociaciones de *Nymphaea ampla* junto con *Cabomba paleaformis*, *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia* sp., y en otros lugares se encuentra *Vallisneria americana* y *Potamogeton illinoensis* (Pérez *et al.*, 2001).

(2) Río Ciénaga [15.6763707,-88.9658966]

Está ubicado dentro del Parque Nacional Río Dulce, al noroeste de Río Dulce. Tiene una longitud aproximada de 10 km, a lo largo de sus intersecciones y arroyos tributarios. A lo largo de todo el río se encuentra un fuerte impacto antropogénico, con presencia de terrenos agrícolas, potreros, viviendas en construcción, y asentamientos, así como una gran cantidad de lanchas con motor. El río posee fuertes corrientes, principalmente en épocas lluviosas, con gran cantidad de material vegetal en descomposición, principalmente troncos sumergidos. Los transectos del lado oeste del río, dirigen a una laguna pequeña que posee una anchura aproximada de 210 m (medidas obtenidas con Google Earth, 2023), diferenciada por la abundante vegetación de especies de plantas acuáticas y arbóreas (B. Chacón y A. Escobar, obs. pers.).



c) Río Sarstún [15.898636, -88.9066655]

El humedal río Sarstún se encuentra en la división política de Guatemala, departamento de Izabal, en la frontera Sur de Belice con Guatemala y colindando hacia el Noroeste con la Bahía de Amatique (Hidalgo y López, 2007).

Dentro del humedal se encuentran tres áreas protegidas, el área de Usos Múltiples del Río Sarstún, el Área de Protección Especial de Sierra Santa Cruz y el Parque Nacional Sarstoon Temash en Belice (FUNDAECO 2005). El Área de Usos Múltiples Río Sarstún tiene un área de 47,582.12 ha (476 km²): de las cuales 43,793.46 ha son de zona terrestre y 3,788.66 ha de zona marina (zona de amortiguamiento). El Área tiene una connotación binacional, ya que funciona como una zona de amortiguamiento del humedal de la zona del Parque Nacional Sarstoon-Temash en Belice (Fundaeo, 2009).

En el área protegida se encuentra el río Sarstún, el cual constituye el cuerpo de agua más importante del área. Este río corre de oeste a este y desemboca en la bahía de Amatique, tiene una longitud de 55 km desde su origen en la aldea Modesto Méndez, Petén, hasta su desembocadura. Este se origina de la unión de los ríos Gracias a Dios y Chocón Machacas (Hidalgo y López, 2007; Fundaeo, 2009). Este río se comporta tanto como medio fluvial y como estuario, ya que debido a su baja altura, está influenciado por las mareas y las crecidas continentales. Lo cual permite el desarrollo de manglares en la parte oriental de su ribera. El segundo cuerpo de agua de gran importancia en el área es la Laguna Grande, la cual tiene un área 150 ha, y se encuentra aproximadamente a 6.5 km de la desembocadura del Río Sarstún (Fundaeo, 2009).

La vegetación del área es predominantemente bosque, el cual ocupa una extensión total de 56,610.26 ha que representa el 56.87% de la extensión total de la cuenca, la cual se encuentra poco o nada intervenida (Fundaecco, 2005). Los principales tipos de hábitat que se presentan en el área son los manglares que, además, corresponden al segundo sistema de manglares más grande del Caribe de Guatemala, entre los cuales se encuentran las especies *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* y *Avicennia germinans*. Asimismo, en las zonas inundables es posible encontrar otras especies representativas del área como Santa María (*Callophyllum brasiliense*), y San Juan (*Vochysia hondurensis*), Guarumo (*Cecropia* sp.), Zapotón (*Pachira aquatica*), entre otras. En la parte alta de la cuenca los bosques están más representados por árboles maderables como la Caoba, el Cedro, el Chico y el Pimiento, así como una plantación de Teca con manejo forestal (Fundaecco, 2009).

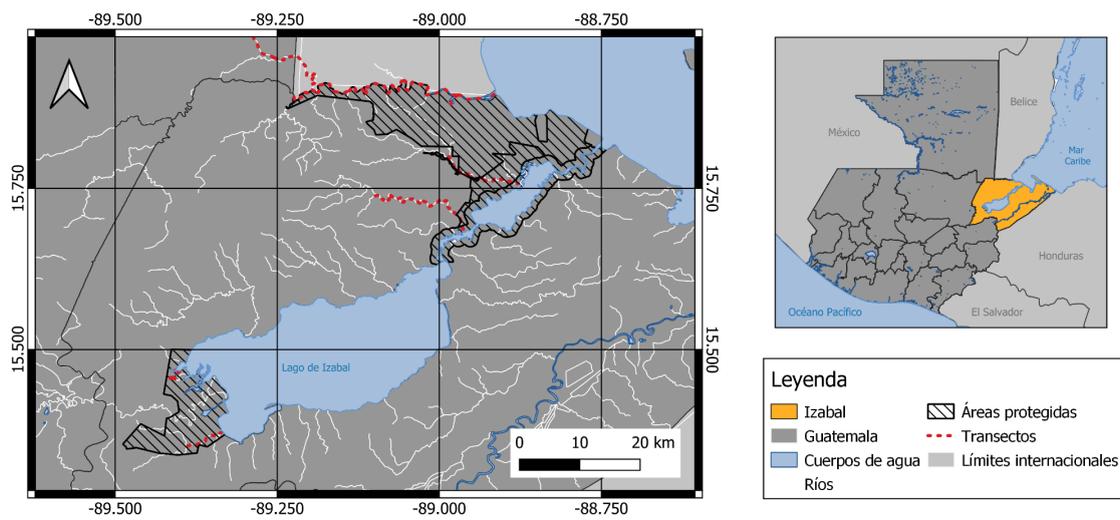


Figura 1. Localización del área de estudio. Los ríos muestreados ($n = 5$) se resaltan en color rojo.

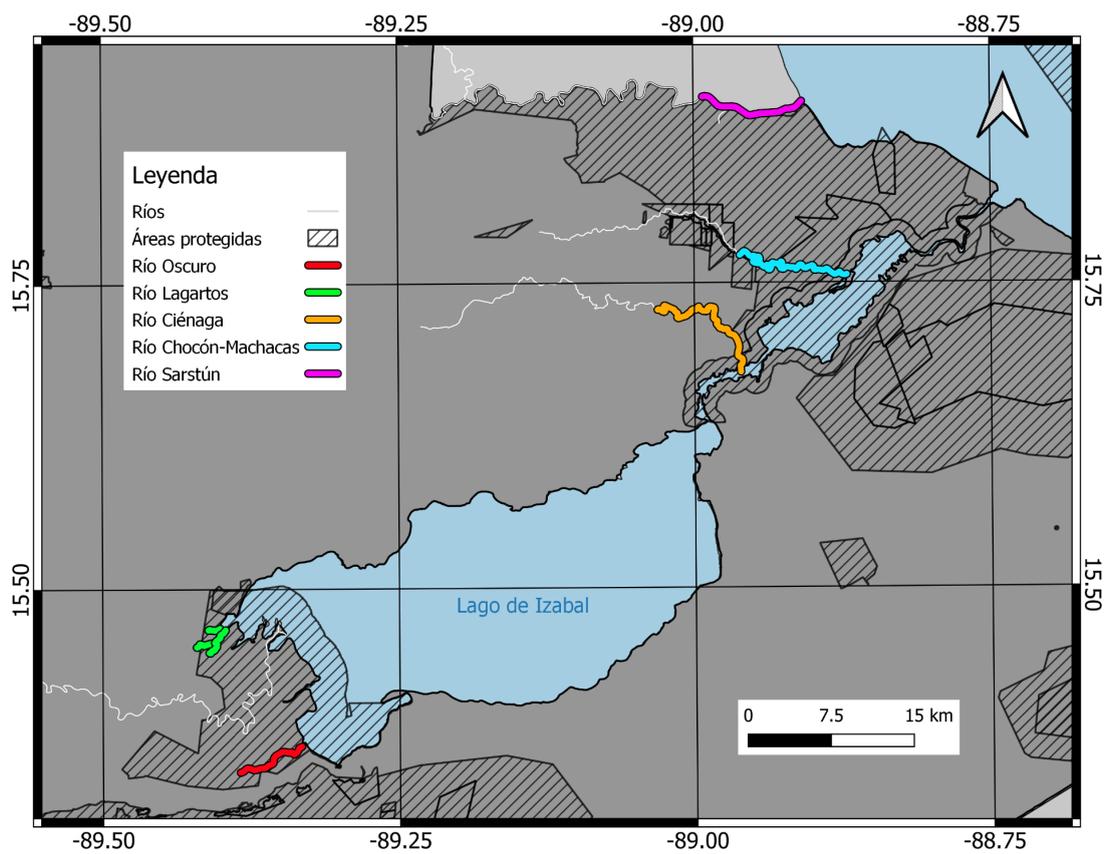


Figura 2. Transectos recorridos en cada uno de los ríos.

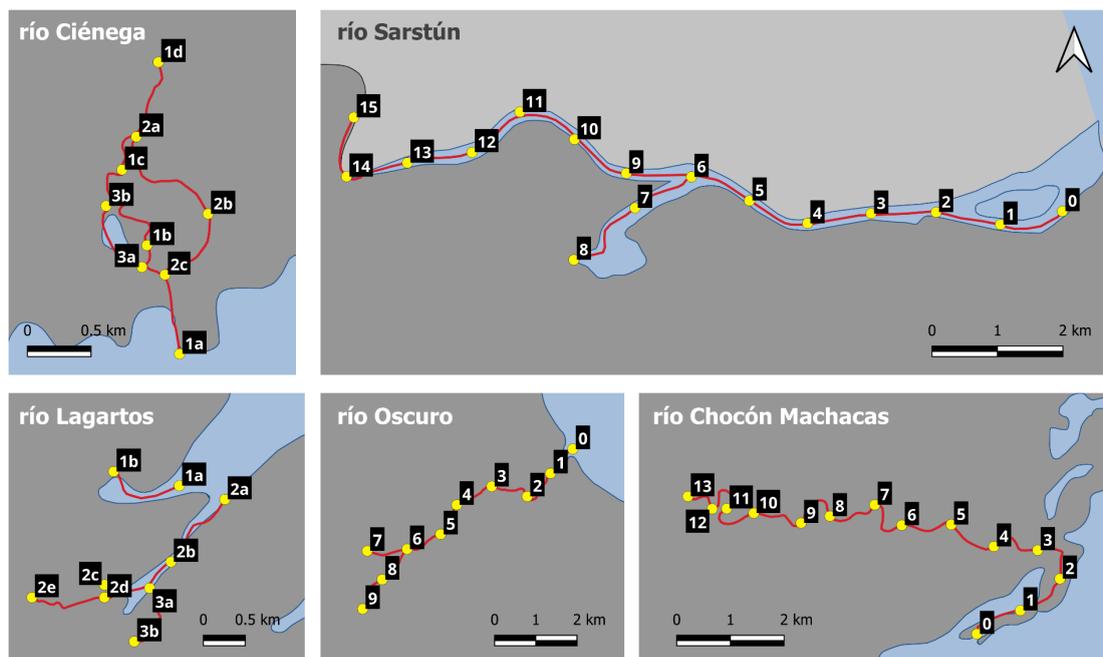


Figura 3. Kilómetros establecidos en los transectos de los ríos muestreados. En el río Sarstún se recorrieron 15 kilómetros río arriba desde su desembocadura y en el río Chocón Machacas y río oscuro se recorrieron 13 y 9 kilómetros, respectivamente, desde su desembocadura. En los ríos Ciénega y Lagartos se recorrieron 6 kilómetros desde su respectiva desembocadura, río arriba, a lo largo del cauce principal y sus arroyos tributarios.

2. Detección del manatí:

Se realizaron muestreos una vez por mes, de agosto a noviembre del 2022, en 5 ríos del departamento de Izabal, siendo éstos río Lagartos, Ciénega, Chocón Machacas, Sarstún y Oscuro (4 muestreos por 5 ríos = 20 muestreos en total). Para ello se realizaron recorridos acuáticos en transectos de 6-15 km de largo, río arriba, a una velocidad aproximada de 7km/h, desde la desembocadura de los ríos hasta donde fue posible el acceso por medio de lancha. Cada río se trabajó por secciones (unidades muestrales), las cuales corresponden a un kilómetro; de manera que, se tiene un río con 15 secciones, un río con 13, un río con 9 y dos ríos con 6 secciones muestrales.

La detección del manatí se realizó con la metodología de sonar de barrido lateral y, cuando fue posible, se confirmó la presencia de los manatíes de forma directa por avistamientos, indicando una detección confirmada cuando se observó el lomo, la cola o la trompa del manatí en la superficie. Al detectar la presencia del manatí, se realizaron capturas de pantalla con el sonar de barrido lateral para obtener la ubicación con respecto a la embarcación.

Se midieron las variables físicas del agua, se determinó el tipo de cobertura del área de influencia y se registraron los datos del día de muestreo. Asimismo, se realizaron capturas de pantalla de los posibles manatíes detectados con sonar, que no pudieron ser confirmados; además, se realizaron grabaciones de sonar de todo el recorrido. Posteriormente, se revisaron las imágenes y grabaciones para detectar manatíes que no se observaron *in situ*, utilizando el programa Reef Master, y se clasificaron en códigos, por carpetas por mes, río y sección. Los objetos seleccionados como posibles manatíes en las grabaciones se identificaron con waypoints con el programa Reef Master y se ingresaron a una base de datos con un código de identificación de imagen y coordenadas geográficas. Se realizó una primera evaluación para las imágenes e individuos seleccionados analizando forma, tamaño y posición del objeto en comparación con las grabaciones de otros meses. Por lo tanto, la primera evaluación consistió en filtrar las imágenes de las que se descartaron aquellos objetos (p. ej. rocas, troncos) que permanecían en el mismo punto durante los distintos meses muestreados.

Con las imágenes y objetos seleccionados, se realizó una consulta a expertos por la metodología de evaluación de imágenes por pares, con el fin de evaluar si los objetos proyectados en las capturas correspondían a un manatí, de acuerdo con la metodología de Castelblanco-Martínez et al. 2017. Para esto se realizó un catálogo de imágenes con un numeral y un código de registro de cada captura, donde se encerró al posible manatí con un círculo rojo, con un número de referencia. En el caso de las imágenes

con varios objetos que parecen manatíes, se indicó un número consecutivo (Figura 14).

Adicionalmente, se realizó un formulario de Google para la evaluación de cada imagen, donde cada número correspondió a los números en el catálogo. En el formulario, en las filas se colocaron los numerales correspondientes a cada imagen, y en las columnas el número correspondiente a las 5 categorías de probabilidad de certeza (Tabla 1), donde 1 significa “Estoy totalmente seguro de la AUSENCIA del manatí”, 2 significa “No sé, pero probablemente NO”, 3 significa “No sé”, 4 significa “No sé, pero probablemente SÍ”, y 5 significa “Estoy totalmente seguro de la PRESENCIA del manatí.” Los puntajes obtenidos para cada objeto se transformaron en valores de confianza (% CV) de acuerdo con el Tabla 1, y se produjo un promedio de CV para cada imagen, según la metodología de Castelblanco-Martínez et al. 2017. Las fotos con un promedio de CV inferior a 0.6 no se consideraron evidencia de manatí y se descartaron del análisis (Fig. 2).

Tabla 1. Criterios utilizados para definir valores de confianza para cada una de las fotos de manatíes potenciales capturadas con el SBL.

Punteo	Criterio	% de confianza
1	Estoy totalmente seguro de la ausencia de manatí en la imagen	0%
2	No sé, pero probablemente no hay manatí en la imagen	25%
3	No sé	50%
4	No sé, pero probablemente sí hay manatí en la imagen	75%
5	Estoy totalmente seguro de la presencia de manatí en la imagen	100%

Fuente: Castelblanco-Martínez et al. 2017.

3. Caracterización del hábitat y análisis de covariables:

La caracterización del hábitat se realizó en los mismos transectos utilizados para determinar la presencia del manatí. En los puntos de detección se midieron variables fisicoquímicas del agua, como temperatura (°C), transparencia (m), profundidad (m), oxígeno disuelto (mg/L), porcentaje de saturación de oxígeno (%), salinidad (ppm), pH, conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y total de sólidos disueltos (ppm), por medio de una sonda multiparamétrica. Las capturas y grabaciones realizadas con el sonar de barrido lateral en cada detección permitieron determinar el tipo de fondo en cada transecto (McLarty et al, 2019), el cual se verificó por medio de fotografías subacuáticas. A partir de la información obtenida con el sonar y las fotografías subacuáticas, se realizaron descripciones del tipo de fondo, por transecto y por río; además, se incluyó la cobertura del área de influencia con las capas de información existentes (p. ej. MAGA).

Las variables antropogénicas medidas en este estudio son la presencia de embarcaciones y la presencia de redes de pesca durante los recorridos en los transectos. Las embarcaciones se clasificaron según el tipo (cayuco o lancha con motor) y se realizaron conteos de las embarcaciones presentes, tanto estacionadas y en movimiento. En el caso de las redes de pesca, también se realizaron conteos de presencia en los transectos muestreados, mediante la observación directa (Quintana-Rizzo y Machuca, 2008), o por medio del sonar (F. Corona com. pers.).

4. Análisis estadísticos:

Se determinó el índice de abundancia relativa (IAR) como el número de detecciones de manatíes por kilómetro recorrido en cada transecto, es decir, en cada una de las secciones a muestrear. Como parte de la exploración de los datos, se realizaron pruebas de normalidad para cada una de las variables dependientes, independientes y las covariables, empleando la prueba de Shapiro-Wilks. Al no cumplir con el supuesto de normalidad, se realizaron pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis para determinar si existían diferencias significativas de las variables fisicoquímicas del agua (temperatura, profundidad, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad, salinidad, pH y total de sólidos disueltos), variables antropogénicas (lanchas con motor, lanchas sin motor, y redes de pesca), y las variables de respuesta de presencia de manatíes y cantidad de manatíes, según cada mes de muestreo, y río muestreado. Para las variables que resultaron significativas ($p < 0.05$), se realizaron análisis *post hoc* de comparaciones múltiples con la prueba de Kruskal-Wallis, con el fin de determinar cuáles fueron las variables cuyos valores difirieron entre sí, según el mes y río muestreado.

Se realizaron análisis de asociación de Chi-cuadrado (χ^2) con el método de máxima verosimilitud (MV-G2), por medio de tablas de contingencia con el fin de determinar si la presencia de manatíes está asociada con las variables fisicoquímicas y antropogénicas. Las variables independientes se categorizaron de acuerdo con rangos asignados arbitrariamente (e. g. profundidad: somero y profundo). Con las asociaciones que fueron significativas, se procedió a hacer un Análisis de Correspondencias obteniendo gráficas de dos ejes para visualizar la asociación entre la presencia o ausencia de manatíes con respecto a las variables categorizadas. Todos estos análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat (Di Rienzo et al. 2023).

Posteriormente, se realizó un análisis de correlación por el método de Spearman, con la finalidad de determinar si existe correlación entre las variables independientes y así excluir las variables correlacionadas en análisis posteriores. Se realizaron regresiones múltiples, utilizando Modelos Lineales Generalizados (GLM, por sus siglas en inglés) (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez, 2014; Jiménez, 2005), los datos se dividieron en regresión binomial para la explicación de la presencia y ausencia de manatíes con base en variables fisicoquímicas del agua y antropogénicas; y en regresión de Poisson para la explicación de cantidad de manatíes con base en variables fisicoquímicas del agua y variables antropogénicas (Olivera-Gómez y Mellink, 2004).

Se hicieron diferentes modelos (Tabla 2) para todos los ríos muestreados, y separados por áreas protegidas del Lago de Izabal, siendo éstos: río Sarstún, en el área del Caribe; río Chocón Machacas, para el área de Río Dulce; y ríos Lagartos y Oscuro, para el área de Bocas del Polochic. Posteriormente, se evaluaron los distintos modelos con los procesos de backward y forward, es decir, las variables fueron intercambiadas según se obtuvo la significancia de cada variable, y se probaron con el Criterio de Información de Akaike corregido (AICc) para elegir el mejor modelo para la explicación de la presencia de manatíes con relación a las variables estudiadas (Olivera-Gómez y Mellink, 2004). Los modelos que muestren los menores valores de AICc indican que estos se ajustan mejor a los datos experimentales o que son menos complejos, o un conjunto de ambos factores. Por lo tanto, este criterio ofrece un valor que cuantifica la precisión y sencillez de un modelo (Martínez, Albín y Cabaleiro *et al*, 2009). Estos análisis se realizaron con el programa R Software (R Development Core Team, 2023).

Tabla 2. Modelos utilizados con diferente combinación de variables independientes para la explicación de la presencia y cantidad de manatíes.

Número de modelo	Combinación de variables
1	Profundidad + Transparencia + pH + Temperatura + Porcentaje de saturación de oxígeno + Conductividad + Lanchas con motor + Lanchas sin motor
2	Profundidad + Transparencia + pH + Temperatura + Porcentaje de saturación de oxígeno + Conductividad
3	Lanchas con motor + Lanchas sin motor
4	Profundidad + Transparencia + pH + Temperatura + Porcentaje de saturación de oxígeno
5	Profundidad + Transparencia + pH + Temperatura + Conductividad
6	Profundidad + Transparencia + pH + Porcentaje de saturación de oxígeno + Conductividad
7	Profundidad + Transparencia + Temperatura + Porcentaje de saturación de oxígeno + Conductividad
8	Profundidad + pH + Temperatura + Porcentaje de saturación de oxígeno + Conductividad
9	Transparencia + pH + Temperatura + Porcentaje de saturación de oxígeno + Conductividad
10	Profundidad + Temperatura + Conductividad

5. Propuesta de protocolo de monitoreo de manatíes usando el sonar de barrido lateral

Con base en el diseño y resultados del estudio, se elaboró una propuesta de protocolo de monitoreo de manatíes en aguas oscuras. Este resume la implementación del sonar de barrido lateral como herramienta de detección de manatíes, generalizando los procedimientos antes, durante y después de su uso de manera que se acople a cualquier marca o modelo de ecosonda, mientras ésta tenga el modo *Side View* en su configuración. Asimismo, el protocolo incluye aspectos relacionados con el procesamiento de los datos y posteriores análisis de confirmación de detección de manatíes (p. ej. consulta a expertos). La propuesta del protocolo está dirigida a técnicos y guardarrrecursos de las áreas protegidas de manera que sirva como un manual de usuario para que lo implementen en futuros programas de monitoreo de manatíes en Guatemala. Las generalidades de esta propuesta de protocolo se mencionan en la discusión (apartado Consideraciones para la conservación) y, la propuesta como tal, se incluye como anexo de este informe (Apéndice 1 y Figura 15).

VII. Resultados

A. Detección del manatí

Se realizaron cuatro recorridos en cada río durante agosto a noviembre de 2022, cubriendo un esfuerzo de muestreo de 15 km en el río Sarstún, 13 km en el río Chocón Machacas, 9 km en el río Oscuro y 6 km en los ríos Ciénega y Lagartos, equivalentes a 84 horas en total. En general, los ríos que presentaron mayor índice de abundancia relativa de manatíes a lo largo de todos los meses de muestreo fueron los ríos Lagartos (IAR = 0.38 manatíes/km) y Sarstún (IAR = 0.37 manatíes/km), tanto en avistamiento directo de manatíes, como en detecciones realizadas con el sonar de barrido lateral (SBL) (Tabla 3). Seguido de estos, los ríos con mayor índice de abundancia relativa fueron el río Oscuro (IAR = 0.22 manatíes/km) y el río Chocón Machacas (IAR = 0.058 manatíes/km). En contraste, el río Ciénega se caracterizó por la ausencia de manatíes en todos los meses muestreados.

En agosto, la cantidad de manatíes presentes fue la misma para el río Sarstún y el río Lagartos. Sin embargo, debido a la longitud del transecto muestreado, la abundancia relativa fue mayor en el río Lagartos (IAR = 0.83 manatíes/km), en comparación con el del río Sarstún (IAR = 0.33 manatíes/km). Mientras que en los ríos Chocón-Machacas y Oscuro no se evidenció la presencia del manatí. Durante septiembre, la abundancia relativa del río Lagartos fue mayor (IAR = 0.50 manatíes/km) en comparación al río Sarstún (IAR = 0.40 manatíes/km). En dicho mes, en el río Oscuro se presentaron 2 manatíes, por lo que su abundancia relativa fue baja (IAR = 0.22 manatíes/km). En el mes de octubre, la abundancia relativa en el río Sarstún fue mayor al resto de ríos (IAR = 0.27 manatíes/km) detectándose 4 manatíes. Los ríos Lagartos y Chocón-Machacas presentaron IAR similares con 0.17 manatíes/km y 0.15 manatíes/km, respectivamente. En noviembre ocurrió la mayor detección de manatíes; el río Oscuro presentó una abundancia mayor (IAR = 0.67 manatíes/km) comparado con los ríos Lagartos (IAR = 0.50 manatíes/km), Sarstún (IAR = 0.47 manatíes/km), y río Chocón-Machacas (IAR = 0.077 manatíes/km), teniendo este último una abundancia relativamente menor.

Tabla 3. Índice de abundancia relativa (IAR) de manatíes en los ríos muestreados.

Río		Sarstún	Ciénega	Chocón Machacas	Oscuro	Lagartos
	Kms	15	6	13	9	6
	<i>Esfuerzo*</i>	15	6	13	9	6
Agosto	<i>Presencia</i>	5	0	0	0	5
	<i>IAR</i>	0.33	0	0	0	0.83
	<i>Esfuerzo*</i>	15	6	13	9	6
Septiembre	<i>Presencia</i>	6	0	0	2	3
	<i>IAR</i>	0.40	0	0	0.22	0.50
	<i>Esfuerzo*</i>	15	6	13	9	6
Octubre	<i>Presencia</i>	4	0	2	0	1
	<i>IAR</i>	0.27	0	0.15	0	0.17
	<i>Esfuerzo*</i>	15	6	13	9	6
Noviembre	<i>Presencia</i>	7	0	1	6	3
	<i>IAR</i>	0.47	0	0.077	0.67	0.50
Promedio	IAR	0.37	0	0.058	0.22	0.38

(*) El esfuerzo de muestreo en cada transecto corresponde al total de kilómetros recorridos, por el mes muestreado.

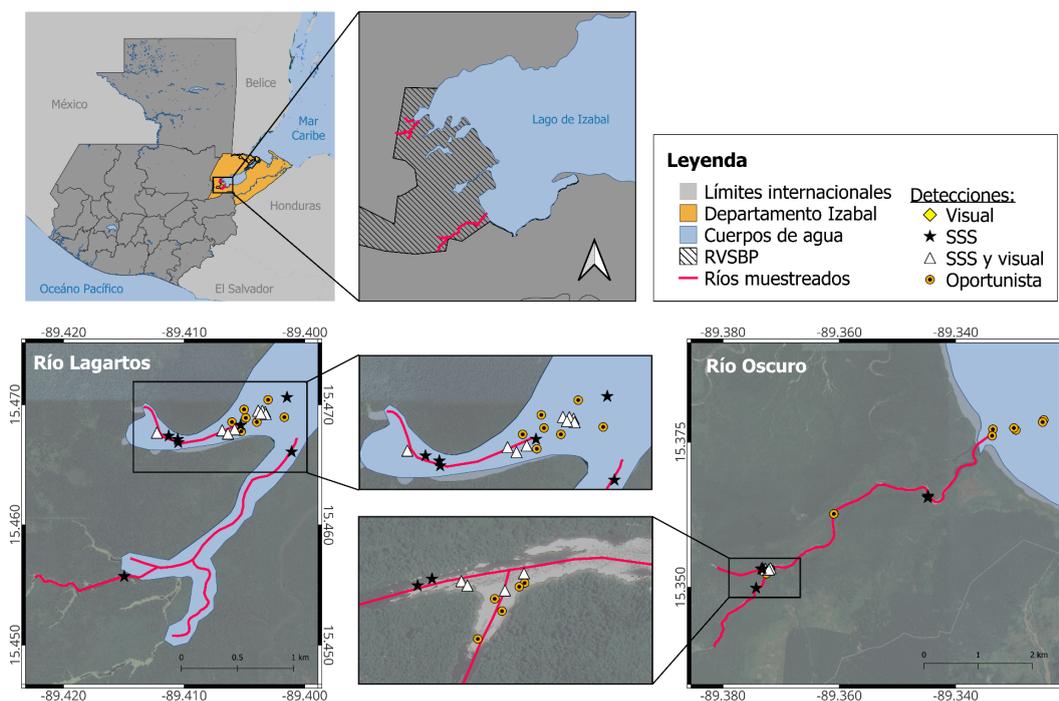


Figura 4: Manatíes detectados en los ríos Oscuro y Lagartos.

Se muestran los manatíes detectados en los ríos Oscuro y Lagartos; en color amarillo se muestran los manatíes detectados por medio de avistamiento directo (visual) en color negro los manatíes detectados por medio del SBL, en color blanco los manatíes detectados por medio de avistamientos directos y por medio del SBL. También se muestran en color anaranjado los manatíes avistados en el área de estudio de forma oportunista, es decir, fuera de los meses de muestreo o durante los meses de muestreo, pero fuera del recorrido de muestreo. En el río Lagartos, los manatíes detectados se concentran en el arroyo del río ubicado al norte, cercano a la Ensenada Lagartos. Por otra parte, en el río Oscuro las detecciones se concentran tanto en la desembocadura del río, como en el cruce al río Selempin.

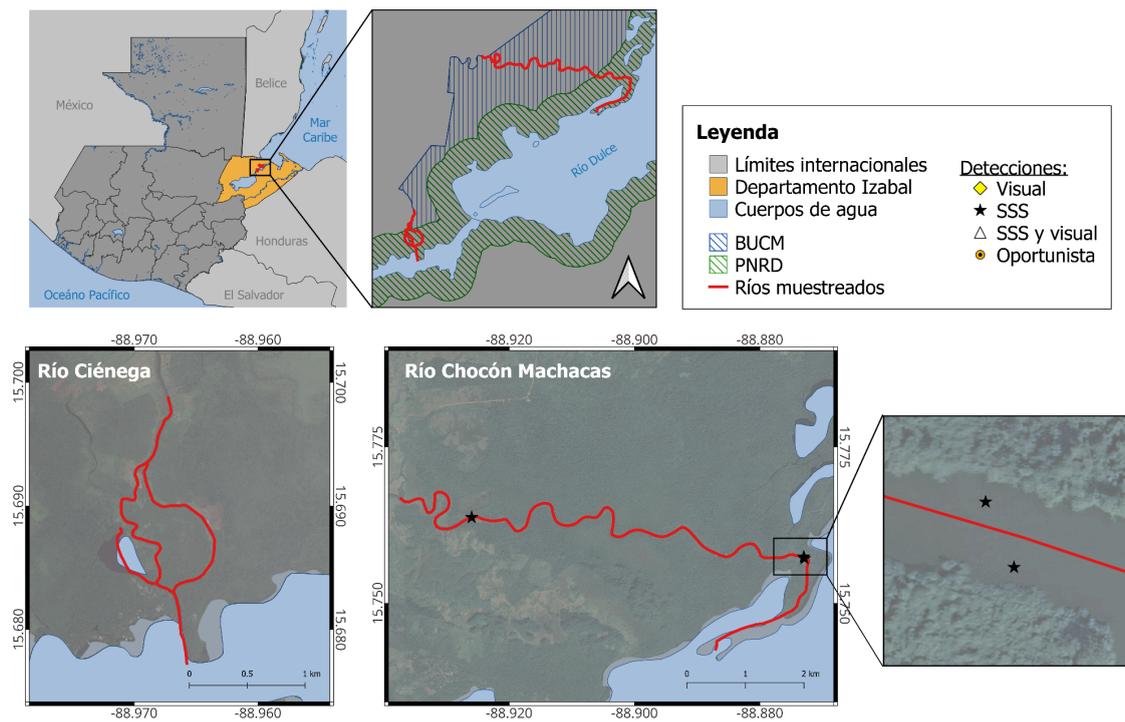


Figura 5: Manatíes detectados en los ríos Ciénega y Chocón Machacas.

Como se observa en la figura, en el río Ciénega no fue detectado ningún manatí. Mientras que en el río Chocón Machacas se detectaron tres manatíes, dos en la parte baja del tramo muestreado y uno en la parte alta del tramo muestreado.

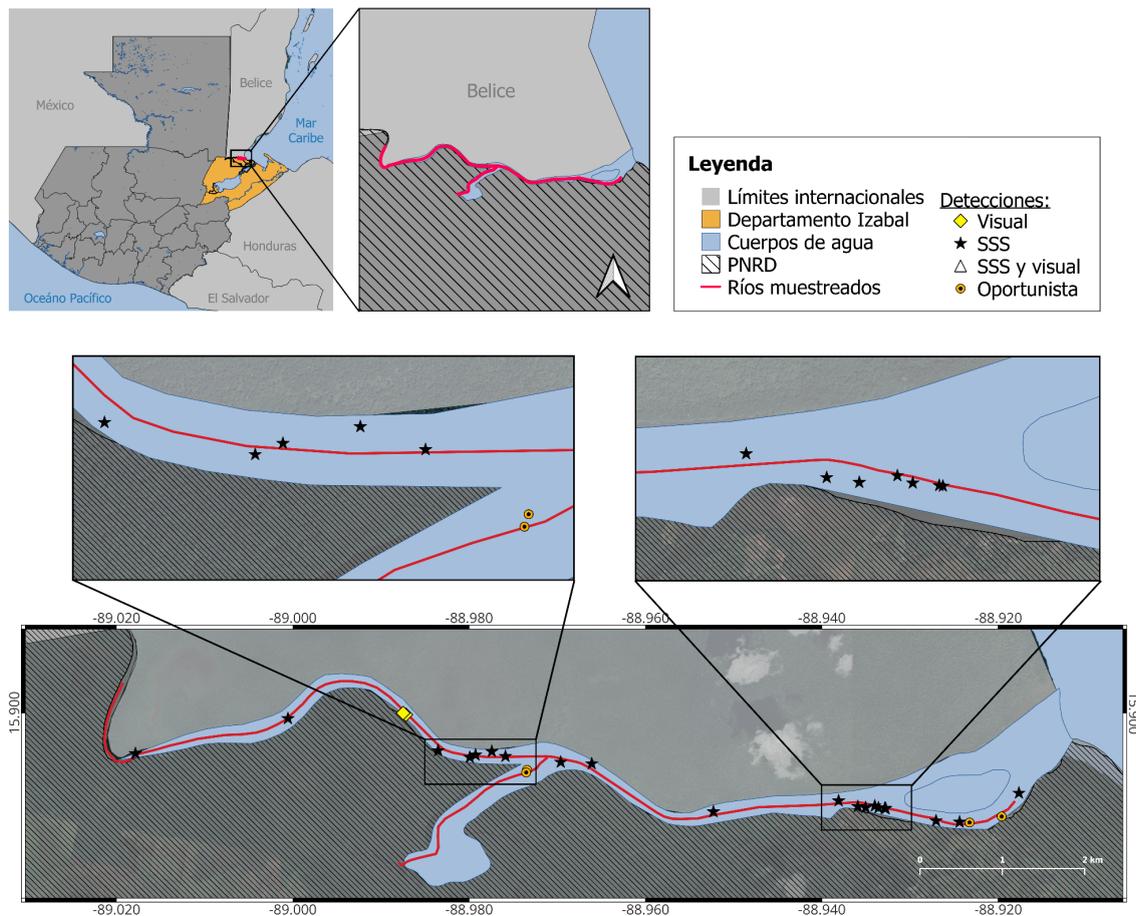


Figura 6: Manatíes detectados en el río Sarstún.

En el río Sarstún la mayoría de los manatíes fueron detectados cerca de la desembocadura del río y próximo al cruce de Laguna Grande.

B. Caracterización del hábitat del manatí

Para el análisis de los meses de muestreo, las variables *pH*, *temperatura*, *oxígeno disuelto*, *porcentaje de saturación de oxígeno*, *conductividad*, *TDS* y *salinidad* mostraron diferencia significativa (KW = valor; $p < 0.05$), según la prueba Kruskal-Wallis (Tabla 4). Es decir, los valores promedio de las variables fueron estadísticamente diferentes a lo largo de los meses de muestreo. Al contrario, las variables *presencia de manatíes*, *cantidad de manatíes*, *profundidad*, *transparencia*, *lanchas con motor*, *lanchas sin motor* y *redes de pesca* no mostraron diferencia significativa (KW = $p > 0.05$).

Según el análisis post-hoc de comparaciones de Kruskal-Wallis, el valor promedio de pH de agosto, septiembre y noviembre fue similar entre estos meses. Sin embargo, las mediciones promedio de pH de octubre difieren del resto de los meses, exceptuando septiembre (Tabla 13). La media de la temperatura fue similar en septiembre, octubre y noviembre, habiendo una diferencia significativa en agosto. El oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno mostraron valores promedios similares en agosto, septiembre y octubre, habiendo diferencia significativa en noviembre. La conductividad fue similar en agosto, septiembre y noviembre, variando significativamente en octubre. Por último, el promedio de salinidad y TDS mostraron valores similares entre agosto y septiembre y agosto y noviembre. Sin embargo, los promedios de septiembre, octubre y noviembre varían significativamente entre sí. Por otra parte, al analizar las variables según los ríos muestreados se observa que la *presencia de manatíes*, *cantidad de manatíes*, *profundidad*, *transparencia*, *pH*, *temperatura*, *oxígeno disuelto*, *porcentaje de saturación de oxígeno*, *conductividad*, *TDS*, *salinidad* y *lanchas sin motor* mostraron diferencia significativa (KW = valor; $p < 0.05$). Por lo tanto, la media de los valores de estas variables varían según los ríos muestreados. En cambio, las variables *lanchas con motor* y *redes de pesca* no mostraron diferencia significativa (KW = $p > 0.05$).

En promedio, la profundidad del río Sarstún y el río Chocón Machacas fue similar entre estos, pero diferente al de los demás ríos. La profundidad del río Lagartos es similar a la del río Oscuro y el río Ciénega, sin embargo estos dos últimos difieren entre sí y del resto de ríos (Tabla 13). El promedio de la transparencia es similar entre los ríos Oscuro y Lagartos; y también entre los ríos Sarstún y Chocón Machacas, sin embargo estos difieren del resto. Por otra parte, la transparencia del río Ciénega difiere del resto de ríos. El promedio del pH de los ríos Lagartos y Oscuro fue similar, pero difiere en los demás meses; asimismo el pH en río Sarstún y Ciénega fue similar pero difiere de los demás meses. Y el promedio de pH del río Chocón Machacas difiere del resto de ríos. La temperatura del río Ciénega fue similar a la del río Chocón Machacas y el río Sarstún. Sin embargo, el río Chocón Machacas difiere del resto de ríos. Por el contrario, el promedio de temperatura del río Sarstún fue similar a la del río Oscuro y el río Lagartos. El promedio de la saturación de oxígeno y el porcentaje de saturación de oxígeno fue similar entre el río Sarstún y el río Ciénega, pero estos difieren del resto de ríos. De igual forma, los promedios para los ríos Lagartos y Oscuro son similares entre sí, pero difieren del resto de ríos. Por último, los promedios de oxígeno del río Chocón Machacas difieren del resto de los ríos. Los promedios de TDS y conductividad son distintos en todos los ríos muestreados. La salinidad promedio es similar entre los ríos Chocón Machacas y Ciénega, pero difieren del resto de ríos. Y los ríos Lagartos, Sarstún y Oscuro son distintos entre sí y de los demás ríos.

Tabla 4: Valores de p para la prueba de Kruskal-Wallis para las variables fisicoquímicas y de presencia y cantidad de manatíes, entre meses de muestreo y ríos muestreados.

	Variable	Valor de p		Variable	Valor de p
Meses de muestreo (Agosto, septiembre, octubre y noviembre)	Presencia de manatíes	0.8349	Ríos muestreados (Sarstún, Chocón Machacas, Ciénega, Oscuro y Lagartos)	Presencia de manatíes	0.0026
	Cantidad de manatíes	0.7807		Cantidad de manatíes	0.0028
	Profundidad	0.3057		Profundidad	<0.0001
	Transparencia	0.0516		Transparencia	<0.0001
	pH	0.0117		pH	<0.0001
	Temperatura	<0.0001		Temperatura	<0.0001
	Oxígeno disuelto	0.0035		Oxígeno disuelto	<0.0001
	Porcentaje de saturación de oxígeno	0.0038		Porcentaje de saturación de oxígeno	<0.0001
	Conductividad	0.0001		Conductividad	<0.0001
	TDS	<0.0001		TDS	<0.0001
	Salinidad	0.0001		Salinidad	<0.0001
	Lanchas con motor	0.7943		Lanchas con motor	0.2659
	Lanchas sin motor	0.4044		Lanchas sin motor	0.0170
	Redes de pesca	0.1625		Redes de pesca	0.2308

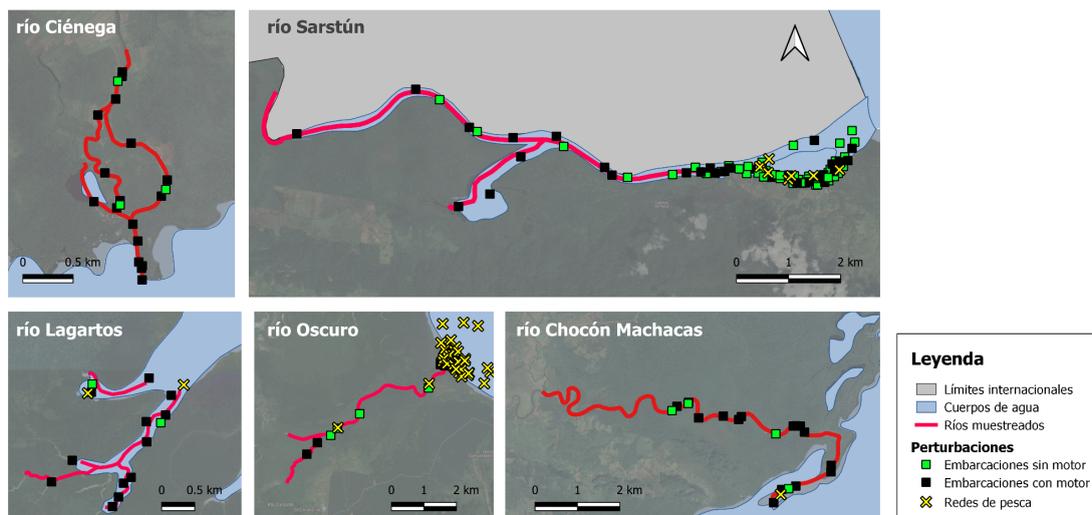


Figura 7: *Perturbaciones registradas en los ríos muestreados (Redes de pesca, embarcaciones con motor y embarcaciones sin motor), durante agosto a noviembre de 2022.*

Se observan las perturbaciones registradas en los ríos muestreados, siendo estas embarcaciones con motor, embarcaciones sin motor y redes de pesca. En el río Ciénega se observa la presencia de embarcaciones con motor a lo largo de todo el río muestreado, principalmente en la desembocadura del río. También se registraron embarcaciones sin motor en menor cantidad. El río Sarstún presentó la mayor cantidad de embarcaciones con y sin motor, principalmente en la desembocadura del río, siendo la mayoría de las embarcaciones registradas como cayucos de madera. En la desembocadura también se registraron redes de pesca. En el río Lagartos se encontraron algunas embarcaciones con y sin motor, a lo largo del río muestreado. También se registraron dos redes de pesca en los recorridos, una en la desembocadura y otra río arriba. En río Oscuro se detectaron pocas embarcaciones con y sin motor, la mayoría cercanas al cruce del río Selempin. Sin embargo, la desembocadura del río Oscuro presentó mayor cantidad de redes de pesca. Por último, en el río Chocón Machacas se registraron embarcaciones con y sin motor a lo largo del transecto muestreado.

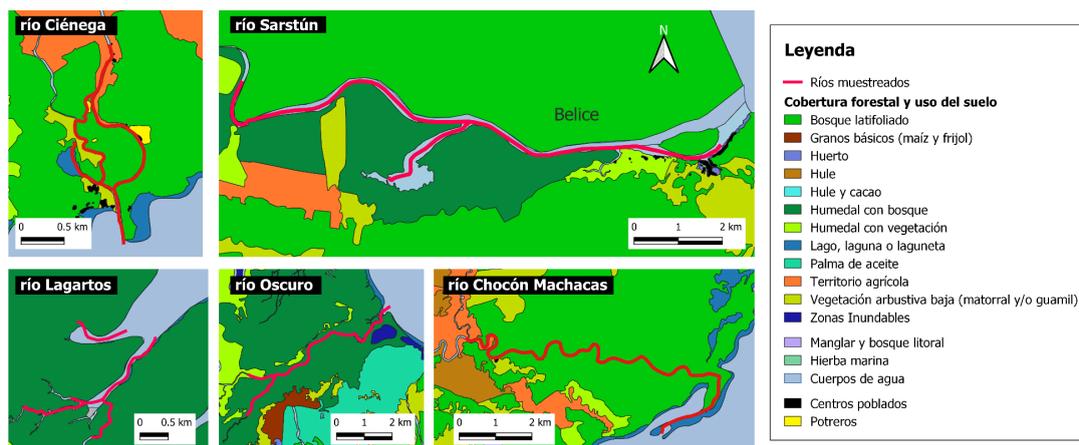


Figura 8: Tipo de uso del suelo asociado a los ríos tributarios muestreados en este estudio.

El río Ciénega se caracterizó por la mayor presencia antropogénica, los primeros transectos presentaron humedales con vegetación circundante. Posteriormente, la presencia de viviendas, potreros y territorios agrícolas aumentó considerablemente, principalmente en los transectos más alejados. El río Sarstún presentó mayormente una cobertura de bosque latifoliado, humedal con bosque, y humedal con vegetación circundante; en los primeros transectos se distinguen zonas inundables, y, alejado a la zona del río, se observan territorios agrícolas. El río Lagartos presenta solamente cobertura de humedal con bosque a lo largo de todos los transectos recorridos. En los primeros transectos del río Oscuro se observan zonas inundables y zonas de humedal con bosque, que se mantienen a lo largo de los transectos, en conjunto con la presencia de humedal con vegetación en los últimos transectos. En cercanía al río Oscuro, se observa la presencia de plantación de palma de aceite, así como también plantaciones de granos básicos. Por último, el río Chocón Machacas se caracteriza por el bosque latifoliado circundante, con presencia de territorios agrícolas en el último transecto recorrido; en la cercanía al río se observa humedales con vegetación, territorios agrícolas y plantaciones de hule.

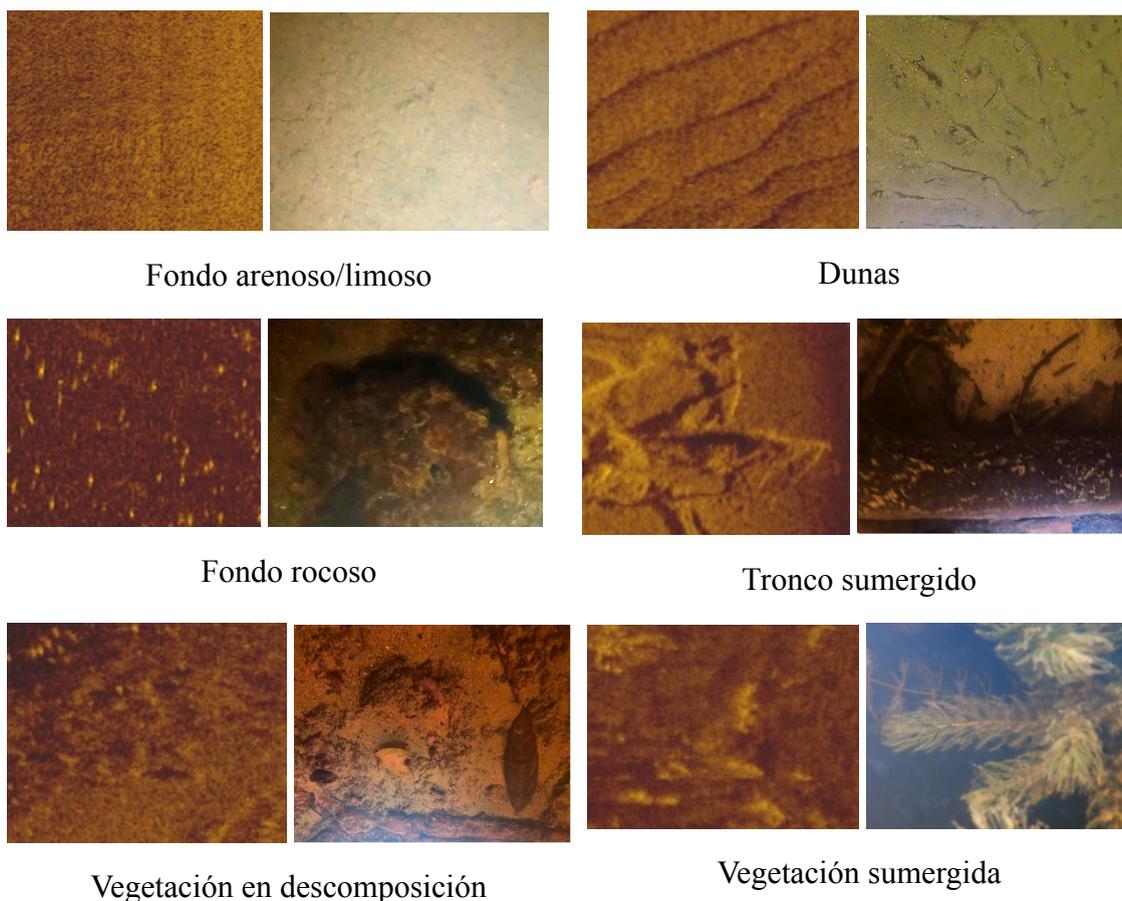


Figura 9: *Tipos de fondo detectados con el sonar de barrido lateral en los ríos muestreados.*

En la figura 11 se observan los distintos tipos de fondo registrados por medio del sonar de barrido lateral (izquierda), así como las fotografías del fondo correspondiente, tomadas con cámara subacuática (derecha). Con la vista de sonar de barrido lateral, detectamos las características principales de los tipos de fondo: el fondo arenoso/limoso se distingue con una cobertura homogénea en el fondo. El tipo de fondo de dunas, se caracteriza por las irregularidades detectadas sobre el fondo arenoso/limoso, se observan numerosas líneas paralelas según la corriente del río. El fondo rocoso se observa de forma irregular, con puntos definidos con brillo en un fondo más oscuro. Los troncos sumergidos se detectan por sus estructuras de ramas, y con diferente luminosidad según la profundidad a la que se encuentre. La vegetación en descomposición al fondo es irregular, con parches oscuros. Y la vegetación sumergida, se distingue por los parches luminosos sin secciones oscuras.

En la tabla 5 se observa el tipo de fondo registrado por medio del sonar de barrido lateral (SBL) de cada uno de los segmentos del río Sarstún (Figura 6). Los segmentos fueron divididos en cinco tramos, según la cantidad de transectos recorridos y su ubicación: bajo, bajo medio, Laguna Grande, intermedio y alto. De manera general, el tipo de fondo en el segmento principal es limoso/arenoso con materia orgánica en descomposición, mientras que en el tramo de Laguna Grande se observó limoso/arenoso con rocas dispersas.

Tabla 5: Tipo de fondo identificado en los segmentos del río Sarstún.

Área	Descripción	Segmentos
Tramo bajo	Fondo arenoso/limoso predominante, poca presencia de vegetación sumergida y vegetación en descomposición, pocos troncos sumergidos.	0, 1 y 2
Tramo bajo medio	Fondo arenoso/limoso y rocoso, presencia de vegetación en descomposición	3, 4 y 5
Tramo Laguna Grande	Fondo predominantemente arenoso/limoso con restos de materia orgánica en descomposición, vegetación sumergida y troncos. Laguna Grande se caracteriza por el fondo arenoso/limoso con presencia de rocas dispersas.	6, 7 y 8
Tramo intermedio	Fondo predominantemente arenoso/limoso con pocas dunas, presencia de troncos sumergidos y materia orgánica en descomposición.	9, 10 y 11
Tramo alto	Fondo predominantemente arenoso/limoso con dunas; presencia de parches con fondo rocoso y materia orgánica en descomposición.	12, 13, 14 y 15

En la tabla 6 se observa el tipo de fondo registrado por medio del sonar de barrido lateral (SBL) de cada uno de los segmentos del río Ciénega (Figura 6). Los segmentos fueron divididos en tres transectos; el primer y segundo transecto se dividieron en tres tramos: bajo, intermedio, y alto, a manera que fueron recorridos en campo. Y el tercer transecto correspondió a un área de Laguna. De manera general, el tipo de fondo es arenoso/limoso, con abundante materia orgánica en descomposición y numerosos troncos sumergidos a lo largo de todos los segmentos.

Tabla 6: Tipo de fondo identificado en los segmentos del río Ciénega.

Área	Descripción	Segmentos
<i>Primer transecto</i>		
Tramo bajo	Fondo predominantemente arenoso/limoso con pocas dunas.	1a
Tramo intermedio	Fondo predominantemente arenoso/limoso; abundante presencia de vegetación en descomposición y numerosos troncos sumergidos.	1b y 1c
Tramo alto	Fondo predominantemente arenoso/limoso; abundante presencia de vegetación en descomposición y numerosos troncos sumergidos; pocas dunas.	1d
<i>Segundo transecto</i>		
Tramo alto	Fondo arenoso/limoso con abundante vegetación en descomposición, numerosos troncos sumergidos; pocos parches con rocas.	2a
Tramo intermedio	Fondo arenoso/limoso con abundante vegetación en descomposición y troncos sumergidos.	2b
Tramo bajo	Fondo arenoso/limoso con abundante vegetación en descomposición, y presencia de dunas.	2c
<i>Tercer transecto</i>		
Laguna	Fondo predominantemente arenoso/limoso con presencia de vegetación sumergida, y rocas dispersas.	3a y 3b

En la tabla 7 se observa el tipo de fondo registrado por medio del sonar de barrido lateral (SBL) de cada uno de los segmentos del río Chocón Machacas (Figura 6). Los segmentos fueron divididos en cinco tramos: bajo, bajo medio, intermedio, medio alto, y alto. De manera general, el tipo de fondo es arenoso/limoso, caracterizado por vegetación sumergida en los primeros segmentos por especies botánicas características, y con abundante materia orgánica en descomposición y numerosos troncos sumergidos en el resto de los segmentos.

Tabla 7: Tipo de fondo identificado en los segmentos del río Chocón Machacas.

Área	Descripción	Segmentos
Tramo bajo	Fondo predominantemente arenoso/limoso, presencia de vegetación sumergida, y flotante (<i>Nymphaea ampla</i> , <i>Nymphoides indica</i> y <i>Scirpus californicus</i>) en las orillas del río.	0, 1 y 2
Tramo bajo medio	Fondo predominantemente arenoso/limoso, presencia de materia orgánica en descomposición y numerosos troncos sumergidos.	3, 4 y 5
Tramo intermedio	Fondo predominantemente arenoso/limoso, presencia de materia orgánica en descomposición y numerosos troncos sumergidos. Tramos con fondo rocoso.	6, 7 y 8
Tramo medio alto	Fondo arenoso/limoso con pocas dunas, presencia de materia orgánica en descomposición y numerosos troncos sumergidos.	9, 10 y 11
Tramo alto	Fondo arenoso/limoso, presencia de materia orgánica en descomposición y numerosos troncos sumergidos.	12 y 13

En la tabla 8 se observa el tipo de fondo registrado por medio del sonar de barrido lateral (SBL) de cada uno de los segmentos del río Oscuro (Figura 6). Los segmentos fueron divididos en tres tramos: bajo, intermedio y alto. De manera general, el tipo de fondo del río es limoso/arenoso con rocas dispersas y troncos de árboles sumergidos, así como con materia orgánica en descomposición.

Tabla 8: Tipo de fondo identificado en los segmentos del río Oscuro.

Área	Descripción	Segmentos
Tramo bajo	Vegetación sumergida abundante (<i>H. verticillata</i> y <i>C. demersum</i>). Tipo de fondo predominantemente arenoso/limoso, formando dunas, y con parches de materia orgánica en descomposición (hojas y ramas de árboles). Presencia de rocas dispersas y troncos de árboles sumergidos.	0, 1 y 2
Tramo intermedio	Fondo arenoso/limoso formando dunas, numerosos troncos caídos y rocas de tamaño variable, principalmente en las orillas del río.	3 y 4
Tramo alto	Fondo predominantemente arenoso/limoso con restos de materia orgánica en descomposición y pocos troncos sumergidos.	5, 6 y 7
Tramo Selempin	Fondo arenoso/limoso con pocos restos de materia orgánica en descomposición y pocos troncos sumergidos.	8 y 9

En la tabla 9 se observa el tipo de fondo registrado por medio del sonar de barrido lateral (SBL) de cada uno de los segmentos del río Lagartos (Figura 6). Los segmentos fueron divididos en tres transectos y en tres tramos: bajo, intermedio y alto. De manera general, el tipo de fondo del río es limoso/arenoso con vegetación sumergida,

principalmente *H. verticillata* y *C. demersum*, con rocas dispersas de tamaño variable y con abundantes troncos de árboles sumergidos.

Tabla 9: Tipo de fondo identificado en los segmentos del río Lagartos.

Área	Descripción	Segmentos
<i>Primer transecto</i>		
Tramo bajo	Vegetación sumergida abundante (<i>H. verticillata</i> y <i>C. demersum</i>). Tipo de fondo predominantemente arenoso/limoso.	1a y 1b
<i>Segundo transecto</i>		
Tramo bajo	Vegetación sumergida abundante (<i>H. verticillata</i> y <i>C. demersum</i>). Tipo de fondo predominantemente arenoso/limoso. Troncos de árboles y rocas de gran tamaño sumergidas, principalmente en las orillas.	2a y 2b
Tramo intermedio	Fondo arenoso/limoso con escasos troncos y rocas sumergidas. Abundantes cúmulos de vegetación sumergida (<i>H. verticillata</i>), distribuida principalmente en las orillas.	2c y 2d
Tramo alto	Fondo arenoso/limoso, poco rocoso y con abundantes troncos de árboles sumergidos. Vegetación sumergida distribuida en las orillas.	2e
<i>Tercer transecto</i>		
Tramo intermedio	Fondo arenoso/limoso con abundantes troncos de árboles sumergidos y rocas dispersas.	3a
Tramo alto	Fondo arenoso/limoso con parches de materia orgánica en descomposición y abundante vegetación sumergida (<i>H. verticillata</i>).	3b

En la tabla 10 se muestra el listado de plantas encontradas dentro de las parcelas de vegetación realizadas en los ríos Oscuro y Lagartos, el cual incluye la familia, la especie y el nombre común. Las especies que muestran dos asteriscos son aquellas que se encuentran dentro de la dieta de los manatíes.

Tabla 10: Listado de plantas encontradas en las parcelas de vegetación muestreadas dentro de los ríos Oscuro y Lagartos.

<i>Familia</i>	<i>Nombre científico</i>	<i>Nombre común</i>
<i>Nimphaeaceae</i>	<i>Nymphaea ampla</i> **	<i>Ninfa de agua</i>
<i>Pontederiaceae</i>	<i>Eichhornia crassipes</i> **	<i>Jacinto de agua</i>
<i>Araceae</i>	<i>Pistia stratiotes</i> **	<i>Lechuga de agua</i>
<i>Hydrocharitaceae</i>	<i>Hydrilla verticillata</i> **	<i>Hidrila</i>
<i>Ceratophyllaceae</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i> **	<i>Bejuquillo</i>
<i>Apocynaceae</i>	-	-
<i>Sapindaceae</i>	-	-
<i>Apiaceae</i>	<i>Hydrocotyle verticillata</i>	<i>Hierba de jute</i>
<i>Fabaceae</i>	<i>Inga sp.</i>	<i>Guamo</i>
<i>Bombacaceae</i>	<i>Pachira aquatica</i>	<i>Zapote bobo</i>
<i>Vitaceae</i>	<i>Cissus microcarpa</i>	-
<i>Orchidaceae</i>	<i>Myrmecophila sp.</i>	-
<i>Fabaceae</i>	<i>Lonchocarpus luteomaculatus</i>	-
<i>Fabaceae</i>	<i>Lonchocarpus sp.</i>	-
<i>Fabaceae</i>	<i>Dalbergia brownei</i>	-
<i>Polygonaceae</i>	<i>Coccoloba barbadensis</i>	-
<i>Fabaceae</i>	<i>Machaerium cirrhiferum</i>	<i>Pito oscuro</i>
<i>Bignoniaceae</i>	<i>Lundia sp.</i>	-
<i>Apocynaceae</i>	<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i>	<i>Huevos de caballo</i>
<i>Malpighiaceae</i>	<i>Bunchosia lindeniana</i>	-
<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea indica</i>	<i>Campanita</i>
<i>Sapindaceae</i>	<i>Paullinia pinnata</i>	<i>Bejuco de zarcillo</i>
<i>Mimosaceae</i>	<i>Mimosa pigra</i>	<i>Carpinchera</i>
<i>Salicaceae</i>	-	-
<i>Combretaceae</i>	<i>Combretum laxum</i>	-
<i>Arecaceae</i>	<i>Bactris major</i>	<i>Güiscoyol</i>
<i>Chrysobalanaceae</i>	<i>Chrysobalanus icaco</i>	<i>Icaco</i>

Fuente: Identificación realizada por Muhammad Mayén.

C. Correlación entre variables fisicoquímicas del agua

Al realizar el análisis de correlación de Spearman de las variables explicativas (Tabla 17), se determinó que existe correlación alta y positiva entre el oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación de oxígeno ($\rho = 1$; $p < 0.0001$), así como entre la conductividad, salinidad y TDS ($\rho = > 0.96$, $p < 0.0001$). Por lo tanto, el oxígeno disuelto, el TDS y la salinidad no se utilizaron en la modelación. En cambio, se tomó el porcentaje de saturación de oxígeno y la conductividad para la realización de los modelos. La profundidad, transparencia, pH y temperatura no mostraron correlación ($= 0$), o presentaron correlación inversa ($= -1$), por lo que se incluyeron en los modelos en combinación con otras variables.

D. Modelos de presencia/ausencia

Para cada GLM se incluye el número de parámetros (k), la desviación explicada del modelo ($-2 \log L$), el Criterio de Información de Akaike ajustado para muestras pequeñas (AICc), la diferencia en AICc entre cada modelo propuesto y el modelo con el valor más bajo de AICc ($\Delta AICc$) y los pesos ponderados de Akaike (AICc w). Como se indicó anteriormente, los modelos se realizaron con todos los ríos muestreados, y divididos por áreas protegidas. Sin embargo, el río Ciénega, perteneciente al área protegida del Parque Nacional Río Dulce fue descartado para estos análisis debido a la carencia de manatíes detectados (Tabla 3).

Para el GLM utilizando la regresión binomial y considerando todos los ríos presentes en el estudio (Sarstún, Chocón Machacas, Lagartos y Oscuro; Tabla 6), se encontró que la variable que más influye en la presencia de manatíes es la presencia de lanchas sin motor (“LS”), que presentó mayor significancia ($p < 0.05$) (Tabla 18). El menor valor de AICc para todos los ríos lo presentó el modelo de variables antropogénicas (*‘Lanchas con motor, Lanchas sin motor’*), (AICc = 153.86). Para el río Sarstún el modelo con menor valor de AICc, lo presentó la combinación de variables antropogénicas (*‘Lanchas con motor, Lanchas sin motor’*), (AICc = 65.63), donde la variable de lanchas sin motor (“LS”) fue la más significativas para el modelo ($p = 0.05$). Por otra parte, para

el río Chocón Machacas, el mejor modelo que explica la presencia de manatíes lo presentó la combinación de variables independientes de '*Profundidad, Temperatura y Conductividad*', AIC = 25.40, sin embargo, se encontró que ninguna variable presentó valores significativos ($p > 0.05$). Al considerar los ríos Oscuro y Lagartos, pertenecientes al área protegida de Bocas del Polochic, el mejor modelo con menor valor de AICc incluyó las variables de '*Profundidad, Temperatura y Conductividad*', AIC = 66.05, asimismo, ninguna de las variables independientes presentó significancia ($p > 0.05$). Sin embargo, la variable de menor valor fue la Profundidad ("*P*") con $p = 0.07$.

E. Modelos de detecciones

En cuanto a los modelos de Poisson (Tabla 11) realizados, al considerar todos los ríos (Sarstún, Chocón Machacas, Lagartos y Oscuro), se encontró que el modelo con el menor AICc es el que contiene las variables '*Profundidad, Conductividad, Cantidad de lanchas con motor y Cantidad de lanchas sin motor*' (AICc = 240.8). Siendo todas, excepto *Cantidad de lanchas sin motor*, significativas ($p < 0.05$) (Tabla 18). Por lo que se puede inferir que estas son las variables que explican la cantidad de manatíes detectados para todos los ríos muestreados. Por otra parte, al considerar únicamente los datos del río Sarstún, se encontró que el modelo con el menor AICc es el que contiene las variables '*Profundidad, Transparencia, pH, Porcentaje de oxígeno disuelto y Conductividad*' (AICc = 98.38). Siendo todas, excepto *pH*, significativas ($p < 0.05$). El modelo realizado para el río Chocón Machacas, muestra que el mejor modelo es el que considera las variables '*Profundidad, Temperatura y Conductividad*' (AICc = 31.89). Sin embargo, ninguna de las variables empleadas en los modelos mostró valores significativos ($p > 0.05$). Por lo que ninguna de estas variables explica la cantidad de manatíes detectados en el río Chocón Machacas. Por último, al considerar los ríos Oscuro y Lagartos, se encontró que el modelo con el menor AICc es el que incluye las variables '*Profundidad, Transparencia, Porcentaje de saturación de oxígeno, Conductividad y Cantidad de lanchas con motor*' (AICc = 99.82). Siendo la profundidad y transparencia significativas para el modelo ($p < 0.05$).

Tabla 11: Contraste de los mejores modelos de explicación para datos de presencia - ausencia (regresión binomial) y detecciones (regresión de Poisson) en función de las variables del físicoquímicas del agua y antropogénicas en cuatro ríos presentes en el departamento de Izabal, Guatemala.

<i>Río</i>	<i>Modelos y variables</i>	<i>k</i>	<i>AICc</i>	<i>ΔAICc</i>	<i>AICc wt</i>	<i>Cum. Wt</i>	<i>LL</i>
<i>Sarstún, Chocón Machacas, Lagartos y Oscuro</i>	Modelo de presencia/ausencia						
	LC+LS	3	153.86	0.00	0.98	0.98	-73.87
	P+Tr+pH+T+O+C+LC+LS	9	161.92	0	1	1	-71.48
	Modelos de detecciones						
	P+C+LC+LS	5	240.8	0.00	0.90	0.90	-115.27
	P+T+C	4	245.77	4.92	0.08	0.98	-118.78
	P+Tr+pH+T+O+C+LC+LS	9	248.27	7.41	0.02	1.00	-114.65
<i>Sarstún</i>	Modelo de presencia/ausencia						
	LC+LS	3	65.63	0.00	0.87	0.87	-29.62
	P+Tr+T+O+C	6	70.12	4.49	0.09	0.96	-28.32
	P+Tr+pH+T+O+C	7	71.98	6.35	0.04	1.00	-27.99
	Modelos de detecciones						
	P+Tr+pH+O+C	6	98.38	0.0	0.71	0.71	-42.46

	P+Tr+T+O+C	6	100.18	1.8	0.29	1.00	-43.35
	Modelo de presencia/ausencia						
	P+T+C	4	25.40	0.00	0.99	0.99	-8.30
<i>Chocón Machacas</i>	P+Tr+pH+T+O+C+LC+LS	9	35.56	10.16	0.01	1.00	-6.78
	Modelos de detecciones						
	P+T+C	4	31.89	0.00	0.97	0.97	-11.54
	P+Tr+pH+T+O+C+LC+LS	9	39.21	7.33	0.03	1.00	-8.61
	Modelo de presencia/ausencia						
	P+T+C	4	66.05	0.00	0.65	0.65	-28.75
	Tr+pH+T+O+C	6	67.29	1.24	0.35	1.00	-27.04
<i>Lagartos y Oscuro</i>	Modelos de detecciones						
	P+Tr+O+C+LC	6	99.82	0.00	0.71	0.71	-43.30
	Tr+pH+T+O+C	6	102.15	2.33	0.22	0.93	-44.47
	P+Tr+pH+T+O+C+LC+LS	9	104.56	4.74	0.07	1.00	-41.91

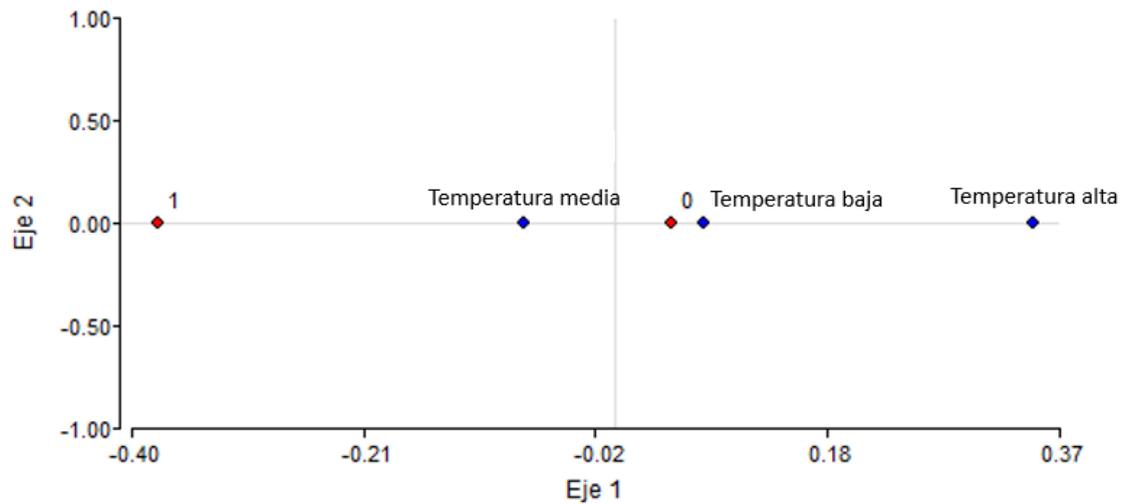
*P, Profundidad; Tr, Transparencia; O, Porcentaje de saturación de oxígeno; C, Conductividad; T, Temperatura; LC, Lanchas con motor; LS, Lanchas sin motor.

F. Asociación entre la presencia de manatíes con las variables de respuesta

En la tabla 12 se observan los valores de chi-cuadrado. Entre las variables fisicoquímicas del agua, la única que presentó un valor significativo ($p < 0.05$) fue la variable de temperatura con respecto a sus categorías establecidas (Tabla 14), las demás variables fisicoquímicas del agua presentaron valores no significativos ($p > 0.05$). Para las variables antropogénicas, la variable de lanchas sin motor presentó un valor significativo ($p < 0.05$) con respecto a las otras variables, esto correspondiente a las categorías establecidas (Tabla 14).

Tabla 12: Cálculo de chi-cuadrado entre la presencia de manatíes, y las variables fisicoquímicas del agua y variables antropogénicas.

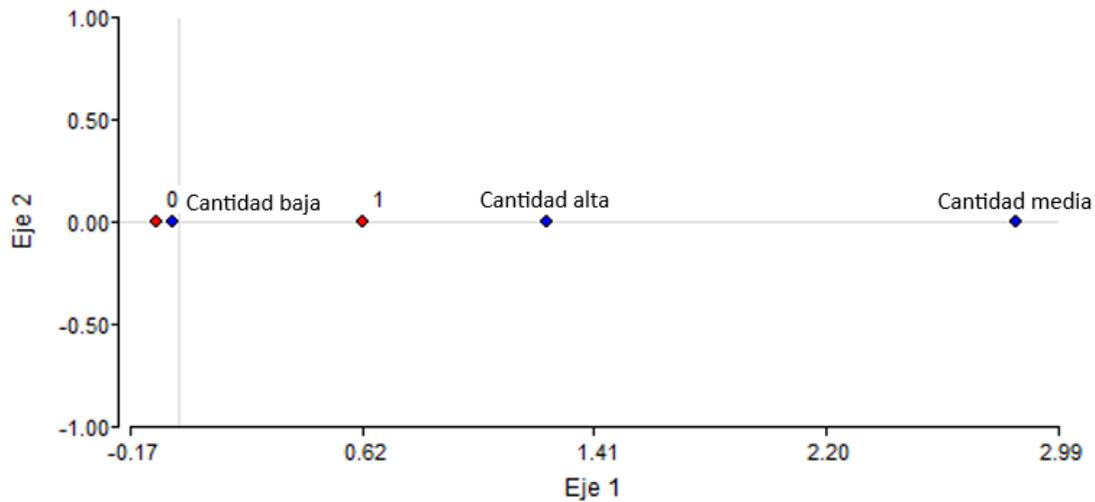
Variable	Valor X ²	p
Profundidad	0.81	0.6674
Transparencia	2.87	0.2375
pH	0.36	0.8349
Temperatura	7.01	0.0300
Oxígeno disuelto	1.83	0.4011
Porcentaje de saturación de oxígeno	1.80	0.4057
Conductividad	2.90	0.4077
TDS	5.57	0.1343
Salinidad	5.13	0.1623
Lanchas con motor	0.47	0.7910
Lanchas sin motor	6.41	0.0406
Redes de pesca	0.07	0.7872



(*) Temperatura baja (23.2°C a 25.8°C); Temperatura media (25.9°C a 28.4°C);
Temperatura alta (28.5°C a 31°C).

Figura 10: Análisis de Correspondencia entre presencia de manatíes y temperatura.

Según el análisis de correspondencia por medio de ejes, la figura 10 muestra la correspondencia de las categorías de la variable independiente de temperatura, que fue significativa en el análisis de chi-cuadrado (Tabla 12), con respecto a la presencia o ausencia de manatíes. El 100% de la variabilidad de los datos se explican en el eje 1 del gráfico los datos de la gráfica están explicados en el eje 1 (Tabla 15). Los puntos rojos representan la variable binomial de presencia (1) y ausencia de manatíes (0). Los puntos azules representan las categorías de temperatura establecidas como baja (C1), media (C2) y alta (C3). Las variables que tienen más correspondencia, es decir, más cercanía, es la ausencia de manatíes (0) con la temperatura baja (C1); al contrario, la presencia de manatíes mostró mayor correspondencia con temperaturas medias (C2).



(*)Cantidad baja de lanchas sin motor (0 a 4); Cantidad media de lanchas sin motor (5 a 8); Cantidad alta de lanchas sin motor (9 a 12).

Figura 11: *Análisis de Correspondencia entre presencia de manatíes y lanchas sin motor.*

Se muestra la correspondencia de las categorías de la variable independiente antropogénica de cantidad de lanchas sin motor (Figura 11), que fue significativa en el análisis de chi-cuadrado (Tabla 12), con respecto a la presencia o ausencia de manatíes. En el eje 1 se explican el 100% de los datos de la gráfica (Tabla 16). Los puntos rojos representan la variable binomial de presencia (1) y ausencia de manatíes (0). Los puntos azules representan las categorías de cantidad de lanchas sin motor, establecidas como baja (C1), media (C2) y alta (C3). Las variables que tienen más correspondencia, es decir, más cercanía, es la ausencia de manatíes (0) con la baja cantidad de lanchas sin motor, de 0 a 4 lanchas (C1). Por otro lado, la presencia de manatíes mostró mayor correspondencia con la cantidad baja de lanchas sin motor (C1) y la cantidad alta de lanchas sin motor, de 9 a 12 lanchas (C3).

VIII. Discusión

A. Sonar de Barrido Lateral

En Guatemala, los estudios predominantes sobre manatí se han realizado por medio de metodologías aéreas y monitoreos en lancha (avistamientos directos) en el cuerpo de agua principal, el Lago de Izabal. Esto para estimar la población y áreas de distribución de la especie. El presente estudio es el primero en utilizar la metodología de Sonar de Barrido Lateral (SBL) en Guatemala para la detección del manatí y la caracterización de su hábitat en ríos tributarios del departamento de Izabal para la obtención del índice de abundancia relativa. Los resultados obtenidos en investigaciones anteriores difieren en cantidad de superficie de área muestreada y metodologías, por lo que no es posible hacer una comparación de abundancias relativas con el estudio actual. Hasta el momento, la población de manatíes estimada es de 150 individuos en Guatemala (Quintana-Rizzo, E. y Reynolds III, 2010) y, en el sobrevuelo realizado en 2014 a nivel regional (México-Belice-Guatemala) se reportaron 38 manatíes para el país (Edwards, 2014).

Al comparar los resultados obtenidos de índices de abundancia relativa con otros países utilizando SBL, se distinguen diferencias entre las épocas muestreadas y transectos en los ríos. Entre ellos, un estudio de Corona-Figueroa et al (2020) en Río Hondo, ubicado entre México y Belice, obtuvieron una mayor detectabilidad con SBL entre los meses de mayo a junio, y un mayor IAR en época seca con 0.16 manatíes/km, asimismo la mayoría se concentraron en los primeros transectos, siendo la desembocadura del río. Resultados similares se presentaron con Guzman y Condit (2017) en Río San San y Río Negro en Panamá, y Castelblanco-Ramírez et al (2017) en áreas costeras de Guyana Francesa, reportando mayor detectabilidad y abundancia en época seca. Esto concuerda en cierta parte con nuestros resultados, siendo el único mes de época seca muestreado, noviembre, donde se detectó y reportó un mayor número de manatíes en los ríos (Tabla 3).

El uso del SBL representa ventajas para el estudio de manatíes principalmente en cuerpos de agua tropicales, caracterizados por abundante cantidad de sedimentos y taninos que resultan en aguas turbias y con poca visibilidad (Gonzalez-Socoloske y Olivera-Gomez, 2012; Guzman y Condit, 2017). Los métodos de sondeos aéreos tradicionalmente utilizados pueden llegar a abarcar grandes superficies de áreas de estudio, pero se ven limitadas a zonas costeras, poco profundas y transparentes (Corona-Figueroa, et al., 2020). Asimismo son influenciados por factores como el clima, experiencia del observador, altura y velocidad, entre otras, así como en metodologías de monitoreos en lancha (Gonzalez-Socoloske y Olivera-Gomez, 2012). El SBL depende de factores como la detectabilidad, es decir, que es posible que no se detecten con precisión todos los manatíes en un área. Sin embargo, se han realizado estudios donde indican que el sonar es capaz de identificar más del 80% de los individuos que son reportados por metodologías (visuales) aéreas y/o en lancha (Guzman y Condit, 2017).

B. Índice de abundancia relativa

La mayor cantidad de manatíes se detectó en el río Sarstún, sin embargo, el mayor índice de abundancia relativa fue del río Lagartos (0.38 manatíes/km, ver Tabla 3), debido a que se registró mayor cantidad de individuos en menor distancia recorrida. En 2008, Quintana Rizzo y Machuca establecieron un IAR en las costas del Sarstún por sondeos aéreos de 0.40 manatíes/km², representando el área con menor porcentaje de manatíes en su estudio, contrario a los resultados en el presente estudio. A pesar de que las metodologías de sondeos aéreos abarcan una mayor área superficial de estudio, se limitan en áreas de vegetación abundante y flotante, así como en ríos poco anchos (Quintana-Rizzo, 1993), así el SBL puede brindar resultados más eficaces en la presencia y detección de manatíes.

En los ríos Sarstún, Lagartos y Oscuro, los manatíes se concentraron, en su mayoría, en zonas de bifurcación y convergencia, así como en puntos de entrada de los ríos. En río Sarstún, la mayor presencia y detección de manatíes correspondió a la desembocadura del río, así como en la intersección hacia Laguna Grande. En el caso del río Oscuro, se

detectaron y avistaron manatíes en la bifurcación hacia río Selempein; mientras que en río Lagartos, las detecciones se presentaron mayormente en la bifurcación de entrada entre el punto 0 y 1, donde convergen la mayoría de arroyos tributarios del río. Estas confluencias entre ríos representan condiciones heterogéneas que favorecen la presencia del manatí. Diversos estudios mencionan la preferencia del manatí por sistemas acuáticos semi-abiertos, o cercanos a desembocaduras de ríos (Axis-Arroyo, et al, 1998; Corona-Figueroa, et al, 2021).

Machuca (2015) concluye que los sitios de mayor relevancia para los manatíes son la Ensenada Lagartos y la desembocadura del río Oscuro, especialmente para el desarrollo de la especie. En 2008, el área del Lago de Izabal (incluyendo el RVSBP) presentó una mayor cantidad de avistamientos por sondeos aéreos (25 manatíes observados), con la mayor cantidad de crías avistadas en el RVSBP, por lo tanto un IAR de 0.37 manatíes/km² (Quintana Rizzo y Machuca, 2008); la alta cantidad de manatíes avistados en el área concuerda con el presente estudio. Se ha registrado que uno de los sitios de alimentación preferidos por el manatí se encuentra en la Ensenada Lagartos; también se han registrado grupos de manatíes apareándose, así como una cantidad considerable de crías en la desembocadura del río Oscuro (Del Valle, 2002; Machuca, 2015; Quintana-Rizzo, 1993; Quintana-Rizzo y Machuca, 2008). Desde años anteriores se ha reportado la preferencia del manatí hacia la Ensenada Lagartos y áreas del río Oscuro (Bocas del Bujajal) (Janson, 1976, citado en Quintana-Rizzo, 1993). Esto se recalcó de nuevo en estudios de Quintana-Rizzo (1993), así como la importancia del área por la presencia de crías, y la reproducción de la especie, principalmente entre Punta Chapín y Cayo Padre. Hasta el momento la permanencia de los manatíes sigue constante en esas áreas. El río Sarstún también presenta condiciones idóneas para la presencia del manatí, tales como la vegetación sumergida (pastos sumergidos) (Del Valle, 2002) y aguas someras (Machuca, 2017).

Respecto al río Chocón Machacas, este estudio reportó un IAR muy bajo (0.058 manatíes/km, ver Tabla 3). Existen reportes de manatíes en la cuenca de Río Dulce y dentro del área protegida BUCM (Corona-Figueroa, 2012; CECOM y CONAP, en revisión), aunque estos no son frecuentes. Sin embargo, hasta el momento, no existen

registros del manatí dentro del río Chocón Machacas más que los reportados en el presente estudio. Asimismo, algunos guardarrecursos del CECON comentaron la presencia de la especie en el río en años anteriores (Mario Cobos, com. pers. 2022). No obstante, existen registros, escasos de manatíes en las lagunas cercanas al Biotopo Chocón Machacas (p. ej. Lagunita Salvador) y uno de esos registros corresponde a una cría de manatí que se halló varada y sin vida en 2011 (Del Valle, 2001; Corona-Figueroa, 2012). A pesar de ello, la baja cantidad de manatíes detectados puede deberse a la expansión de comunidades dentro del área protegida, tráfico de embarcaciones, la extracción de recursos, la caza y pesca ilegal, así como la deforestación, los cuales son factores de riesgo para el manatí (Del Valle, 2001; ParksWatch, 2003; Quintana Rizzo y Machuca, 2008).

El río Chocón Machacas, así como las lagunas anexas, brinda un hábitat idóneo para el manatí, puesto que está rodeado de abundante y diversa vegetación, como vegetación sumergida y flotante, la cual sirve de alimento para el manatí (Corona-Figueroa 2012). Del Valle (2001) menciona al Biotopo Chocón Machacas y sus lagunas como lugares idóneos para la presencia del manatí, siendo un sitio ideal de descanso para la especie. Además, podrían considerarse como sitios para la reintroducción o traslocación potencial de ejemplares (Corona-Figueroa, 2012), luego de realizar procesos de rehabilitación en el futuro.

A diferencia del resto de los ríos muestreados, en el río Ciénega no se detectó ningún manatí. En 1993, Quintana-Rizzo documentó el reporte de manatíes en río Ciénega, por medio de entrevistas con personas del área. Sin embargo, la ausencia de reportes en este estudio puede deberse al incremento de factores antropogénicos, puesto que se registró un elevado tránsito de transporte con motor a lo largo del río. Además, se ha reportado la existencia de basureros clandestinos, principalmente en las márgenes del río, provenientes de las comunidades. Aunado a la actividad turística, los cambios en el uso de la tierra, asociados a invasiones y extensiones de poblados, así como casas de habitación y de recreo (Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-, 2019). Por otra parte, durante la fase de campo se logró observar que el río Ciénega posee fuertes corrientes, las cuales facilitan el desplazamiento de desechos orgánicos e inorgánicos a

lo largo de la cuenca, tanto en la superficie, como en el fondo del río. Los manatíes prefieren canales y ríos de caudal lento, donde la vegetación sumergida puede crecer (Stewart, 1990, como se citó en Quintana-Rizzo, 1993). No obstante, las fuertes corrientes observadas en el río Ciénega podrían provocar que los manatíes no hagan uso de este hábitat, al menos durante la época lluviosa. Es evidente que la presencia y cantidad de manatíes varía según el río, y esto podría deberse a las condiciones que estos pueden ofrecer a la especie. Por otro lado, es importante resaltar que uno de los transectos muestreados dentro del río correspondía a una laguna (ver Figura 3). Aunque no fue posible la detección de la especie en esta laguna y no ha habido reporte de presencia de la especie (Omar de León, com. pers., 2023), ésta presentaba condiciones ideales para la presencia de manatíes (i. e. temperatura promedio de 28°C, profundidad promedio de 2.9 metros, caudal lento, sin presencia de embarcaciones o redes de pesca, y vegetación abundante).

A partir del 2007, se estableció un nuevo reglamento de pesca para promover la Reserva de Usos Múltiples río Sarstún como sitio RAMSAR, así como condiciones de manejo para la conservación del humedal (Hildalgo y López, 2007), lo cual pudo haber influido en la disminución de las actividades antropogénicas en el área. En río Sarstún no se detectó diferencia significativa de variables antropogénicas (lanchas con motor, lanchas sin motor y redes de pesca) durante los meses muestreados. La cantidad de redes de pesca observadas en río Sarstún fue menor en comparación a las observadas en río Oscuro, especialmente en las áreas de desembocadura de los ríos. Además, en río Sarstún se distinguieron principalmente artes de pesca como atarraya y anzuelo, que se consideran inofensivas para el manatí (Machuca, 2017). Con respecto a las embarcaciones, se detectó una gran cantidad de lanchas con motor, mayormente estacionadas en muelles y viviendas en el tramo bajo y en la desembocadura del río, donde se concentran los centros poblados del lado de Guatemala. Asimismo, se distinguió el tránsito de lanchas sin motor mayormente en los tramos cercanos a los centros poblados. Mientras que en el tramo intermedio, Laguna Grande y el tramo alto la cantidad de lanchas se redujo considerablemente, y no se observaron redes de pesca en los tramos altos.

Sin embargo, el área protegida Refugio de Vida Silvestre Bocas del Polochic se ve impactado frecuentemente por factores antropogénicos. Durante los meses de muestreo se pudo observar la presencia de redes de arrastre, principalmente en la desembocadura de Ensenada Lagartos, y en cercanía de la desembocadura del río Polochic. Este tipo de pesca se caracteriza por utilizar redes muy extensas (hasta 6 km de largo) formando un semi-círculo que atrapan todo lo que esté a su paso, entre ellos podría quedar el manatí provocando asfixia y lesiones (Machuca y Corona, 2019). Así también, durante muestreos se identificó la tala de árboles en el área, principalmente en Ensenada y río Lagartos, y el alto transporte de embarcaciones con motor en áreas de río oscuro.

C. Caracterización del hábitat

Las áreas de menor presencia del manatí son las del sureste del Lago de Izabal y el norte y sur de Río Dulce por ser áreas ruidosas, de mucha presencia antropogénica en viviendas y asentamientos (Janson, 1976, como se citó en Quintana-Rizzo, 1993). Quintana (1993) confirmó en su estudio la poca preferencia del manatí en esas áreas, sumando también el centro de Río Dulce y área de El Golfete, por el tráfico de embarcaciones mayormente debido al turismo. Aunque durante el estudio de Quintana (1993) sí se registró poca presencia de manatíes en lagunas de El Golfete, se recalcó que el área no es preferible para los manatíes y podría ser solo un área de paso o un corredor que utilizan para desplazarse del Lago de Izabal hasta la costa y viceversa. Sin embargo, Corona-Figueroa (2012) evidenció que esto aplica únicamente a los hábitats somero-perturbado y profundos-muy perturbado, ya que se ha registrado la preferencia y el uso del hábitat de grupos de manatíes por el hábitat somero-poco perturbado, el cual es utilizado principalmente como sitio de refugio, alimentación y desarrollo de las crías. Asimismo, en el BUCM se encuentra este tipo de hábitat, por lo que el mismo presenta condiciones ambientales que influyen en la distribución de la especie (Corona-Figueroa, 2012). Durante el viaje hacia los puntos de muestreo fue posible observar una gran cantidad de transporte acuático motorizado, sin embargo, solo se registraron aquellas dentro de los ríos muestreados.

La presencia de embarcaciones con motor podría ahuyentar a los manatíes por el ruido subacuático que generan (Quintana-Rizzo & Reynolds 2010). También podrían provocar colisiones, llegando a golpear y herir a los manatíes, así como disminuir la calidad del hábitat al incrementar el deterioro de la vegetación acuática y la turbidez y contaminación del agua (Castelblanco-Martínez et al, 2012; Corona-Figueroa, 2012; Machuca y Corona-Figueroa, 2019; Del Valle, 2002). Estas amenazas pueden provocar el desplazamiento de los manatíes de lugares que podrían funcionar como refugios y sitios importantes (Quintana-Rizzo y Machuca, 2008; Corona-Figueroa, 2012). Se dice también que el movimiento de lanchas constante causa turbidez en el agua que puede afectar directamente el crecimiento de vegetación, es decir, los posibles lugares de alimentación del manatí (Quintana Rizzo, 1993).

El manatí se considera una especie generalista, puesto que consume aproximadamente 60 especies diferentes de vegetación en hábitats marinos, estuarinos y de agua dulce, alimentándose principalmente de macrófitas (Alves-Stanley *et al*, 2010; Hartman 1979; Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez, 2014). Dentro de la dieta del manatí se encuentran géneros de plantas tales como: *Ceratophyllum*, *Eichhornia*, *Echinochloa*, *Hydrilla*, *Najas*, *Nymphaea*, *Panicum*, *Paspallum*, *Phragmites*, *Pistia*, *Pontederia*, *Potamogeton*, *Thalassia*, *Vallisneria*, entre otras (Corona-Figueroa, 2012; Quintana-Rizzo y Machuca, 2008).

En el área de estudio se colectaron 27 especies vegetales, de las cuales cinco forman parte de la dieta del manatí, de acuerdo con lo reportado por Mignucci-Giannoni (1998), Etheridge, et al. (1985) y Castelblanco-Martínez, et al. (2009) . Se observó en las distintas áreas de estudio la diferencia de vegetación sumergida y circundante. En el río Sarstún no se distinguió una cantidad significativa de vegetación sumergida y flotante; la vegetación circundante predominó principalmente con la presencia del mangle (*Rhizophora mangle*). El río Ciénega careció totalmente de vegetación sumergida y flotante; la vegetación circundante se caracterizó por ser de plantaciones agrícolas, potreros, y presencia de viviendas (Figura 8). Mientras que en el río Chocón Machacas, la vegetación sumergida y flotante se presentó solamente en el tramo bajo, con pocas especies identificadas como de dieta para el manatí. Ahora bien, en los ríos Oscuro y

Lagartos, la vegetación flotante se presenta distribuida de forma continua por ambos ríos, llegando a ser tan densa que, en muchos casos, impide el paso de las embarcaciones. A diferencia de ésta, la vegetación sumergida se encuentra distribuida en parches dispersos, principalmente en la desembocadura de ambos ríos (Tabla 8 y 9) y en mayor cantidad en el río Lagartos (Tabla 9). El río Sarstún se caracteriza por la presencia de grandes espacios de plantas acuáticas como *Vallisneria americana* (Pérez et al. 2001), la cual ha sido reportada como parte de la dieta de la especie (West 1990, Reynolds & Powell 2002; Quintana-Rizzo y Machuca, 2008).

Los sitios en los cuales fue posible la detección del manatí fueron aquellos asociados a la vegetación sumergida y circundante de cada río, principalmente en los ríos Oscuro y Lagartos, en los cuales se observaron grupos de manatíes alimentándose de la vegetación sumergida, principalmente en las desembocaduras de ambos ríos. Un factor del hábitat que se ha evidenciado que afecta la distribución del manatí antillano es la abundancia de vegetación acuática y la alta cobertura arbórea en las riberas (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez, 2014; Quintana-Rizzo y Machuca, 2008). Jiménez identificó la abundancia de vegetación acuática como un factor significativo que explica la presencia de la especie (Jiménez, 2005). Asimismo, Olivera-Gómez y Mellink (2005) encontraron una correlación significativa entre la cobertura de macrófitos acuáticos y la presencia de manatíes.

Durante los meses de muestreo se encontró diferencia significativa en las mediciones de las variables fisicoquímicas del agua, con excepción de la profundidad y transparencia, así como la presencia y cantidad de manatíes; variables que se mantuvieron constantes a lo largo de los meses de muestreo. Estas diferencias pueden deberse a diversos factores, entre estos, los patrones de lluvias.

Por lo general, en Izabal la época lluviosa es entre junio y septiembre; mientras que la época seca es de octubre a mayo (Yáñez-Arancibia et al. 1999). Otro factor que influye en dichos patrones de lluvia son los fenómenos naturales. En octubre de 2022 el ciclón tropical denominado Julia impactó en Guatemala, afectando principalmente la región Caribe, provocando lloviznas y lluvias constantes e intermitentes (SEGEPLAN, 2022).

Las precipitaciones juegan un papel crucial en las propiedades físico-químicas del agua, ya que cuando las lluvias son más intensas, aunado a la deforestación y la expansión de la agricultura en las áreas circundantes, ocurren cambios en el ciclo del agua en las cuencas. Esto se traduce en un aumento del flujo de agua superficial, tanto en cuerpos de agua dulce, como en los océanos (INSIVUMEH, 2021). Esto puede provocar cambios en la profundidad, transparencia, temperatura, salinidad y demás parámetros del agua a través de los meses.

Asimismo, la temperatura atmosférica puede variar a lo largo de los meses y esta puede afectar en gran medida los parámetros fisicoquímicos del agua. Según datos recolectados por el INSIVUMEH entre los años 1971 a 2014 para la región del Caribe, la temperatura promedio en estos meses varía de la siguiente manera: en agosto la temperatura varía entre 27.2 y 28.1°C, en septiembre tiende a encontrarse entre 27 y 28°C, en octubre varía de 26.2 a 27°C, en noviembre oscila entre 24.3 a 25.5°C (INSIVUMEH, 2021). Estas temperaturas están influenciadas por las masas de aire frío que provienen de las zonas de latitudes altas y medias. La época fría en Guatemala suele iniciar durante la segunda quincena de octubre para finalizar en la primera quincena de marzo (INSIVUMEH, 2021).

Por el contrario, fue posible encontrar variación de las variables fisicoquímicas y antropogénicas, así como la presencia y cantidad de manatíes detectados entre ríos muestreados. Esta diferencia puede deberse a diversos factores, tal como la influencia de los cuerpos de agua conectados a cada río. Por ejemplo, los ríos Oscuro, Lagartos, Chocón Machacas y Ciénega están conectados a cuerpos de agua dulce, por la descarga de otros ríos en estos, y debido a que estos desembocan en cuerpos de agua dulce más grandes, como el Lago de Izabal y Río Dulce. Mientras que el río Sarstún desemboca en el mar Caribe, por lo que se comporta como medio fluvial y como estuario, lo cual hace que este río posea mayor salinidad y se encuentra fuertemente asociado a los cambios de las mareas (Fundaecco, 2009).

Asimismo, la variación de las variables fisicoquímicas entre ríos puede deberse a la presencia de comunidades y a las actividades económicas que se llevan a cabo en la cuenca alta de cada río. En río Oscuro desembocan los ríos Selempin y Chinebal, en los cuales la principal actividad productiva de subsistencia de la comunidad es la agricultura. El río Lagartos no se asocia a actividades productivas, en cambio, se encuentra dentro de un bosque inundado poco perturbado. Sin embargo, su cuenca podría estar influenciada por las actividades de extracción minera que se llevan a cabo en la cabecera municipal de El Estor (Fundación Defensores de la Naturaleza, 2003). Por otra parte, en el nacimiento del río Chocón Machacas se encuentran los caseríos Semayí y Cocalles Chocón, y en la parte oeste del río se llevan a cabo actividades productivas como la ganadería y la agricultura, lo que hace que el río se encuentre expuesto a constantes impactos derivados del cambio en el uso de la tierra (CECON y CONAP, en revisión). En el río Ciénega es un río cuya ribera se encuentra deteriorada, algunas partes exhiben construcciones. En la parte oeste del río se encuentran grandes extensiones de pastizales para ganadería así como cultivos de maíz, que se extienden hasta las márgenes del río (CECON y CONAP, en revisión). Por último, el río Sarstún se encuentran asentadas algunas comunidades y, a pesar de que se llevan a cabo actividades productivas como la ganadería y la agricultura, la mayor parte del área está representada por bosque (Fundaecco, 2009). Por tanto, el cambio del uso del suelo y el deterioro del bosque en los ríos provoca la reducción de la capacidad de filtración de sedimentos, lo que influye en la calidad del agua (CECON y CONAP, en revisión). Y debido a que cada río se encuentra expuesto a distintos niveles de perturbación, estos pueden mostrar variaciones en los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua.

Otro factor que podría causar variación de las variables fisicoquímicas entre ríos es la vegetación. Puesto que los ríos Oscuro, Lagartos, Ciénega y Chocón poseen bosques latifoliados, en su mayoría inundables. Además, en los últimos años se ha dado la expansión de la planta introducida, *Hydrilla verticillata* (Fundación Defensores de la Naturaleza, 2003). Mientras que en el río Sarstún la vegetación predominante son los manglares, los cuales son plantas halófitas, puesto que crecen en ambiente donde existe influencia de fluctuación mareal continua (Fundaecco, 2009).

Las variables de presencia y cantidad de manatíes también se presentaron significativas entre los ríos muestreados. De manera similar, Quintana Rizzo (1993) indicó que la distribución y densidad poblacional de manatíes depende del área, pero es independiente del tiempo. Las variaciones en ríos puede deberse a diversos factores, como: cantidad de alimento disponible en cada río (vegetación flotante y sumergida), presencia y cantidad de variables antropogénicas, como embarcaciones, redes de pesca, viviendas y/o contaminantes/polución (Del Valle, 2001), así como las condiciones fisicoquímicas, entre ellas salinidad, profundidad, conductividad, temperatura, etc.

D. Asociaciones entre variables y modelos lineales generalizados

Los modelos realizados que mejor explican la presencia de manatíes en todos los ríos son las variables antropogénicas de lanchas con motor y lanchas sin motor, donde la única variable significativa fue lanchas sin motor (Tabla 11). Asimismo, al tomar solo en cuenta el río Sarstún para la explicación de presencia del manatí, las mismas variables se presentaron en el modelo, siendo la significativa las lanchas sin motor. Esto evidencia el desarrollo de las actividades antropogénicas en lugares donde permanece y se distribuye el manatí, principalmente el aumento de asentamientos en la región del Sarstún que podrían explicar el uso constante de cayucos para actividades habituales, como el transporte de personas impulsado por remos, donde se observó en campo máximo 4 personas en un cayuco, y actividades económicas como la pesca con anzuelo y trasmallos, que permanecían en su mayoría inmóviles por el tipo de arte de pesca. Al tomar solamente los ríos Chocón Machacas, y Oscuro y Lagartos, ambos modelos presentaron la mejor explicación de presencia de manatí con las variables de profundidad, temperatura y conductividad, sin embargo ninguna de ellas fue significativa para los modelos.

De acuerdo con los análisis de chi-cuadrado (Figura 10), la ausencia de manatíes se relaciona con temperaturas bajas menores a 25.8° C, mientras que la presencia de manatíes se relaciona con temperaturas medias, mayores a 25.9° C y menores a 28.4° C, según categorías establecidas. Se ha evidenciado que en regiones tropicales, caracterizadas por aguas cálidas, la temperatura del agua no es un factor determinante

en la distribución y presencia de manatíes, ya que se mantiene mayor a los 20° C (Alexis-Arroyo, et al, 1998; Jiménez, 2005; Olivera-Gómez y Mellink, 2005; Corona-Figueroa, 2019). La variable de temperatura en algunos estudios se sugiere como influyente en la presencia de manatíes (Corona Figueroa, 2012); sin embargo, el estudio de Quintana-Rizzo y Machuca (2008) menciona que las variables físicas y químicas no influyen en la presencia de manatí, posiblemente porque las variables fisicoquímicas dentro del Lago de Izabal se mantienen constantes. No obstante, es necesario priorizar la obtención de más datos a largo plazo para obtener análisis robustos y significativos.

Por otra parte, el modelo de Poisson que mejor explica las detecciones de manatíes en todos los ríos, y cuyas variables resultaron significativas, fueron las variables: profundidad, temperatura y lanchas con motor. En aguas profundas la preferencia del manatí se ha registrado hasta los 5 m, mientras que en aguas someras su límite es de 1.5m (Quintana-Rizzo y Machuca, 2008). Sin embargo, algunos estudios indican una asociación entre la variable profundidad con la presencia (Axis-Arroyo, et al, 1998; Corona Figueroa, 2012; Ramírez Jiménez, 2008; Gonzalez-Socoloske & Olivera-Gómez, 2012; Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez, 2014) y con la detección del manatí (Corona-Figueroa, et al, 2021). En los ríos Oscuro, Chocón Machacas y Sarstún fue posible detectar varias pozas de hasta 10 m, 17 m y 15 m de profundidad, respectivamente. Se ha demostrado que los manatíes utilizan zonas más profundas como sitios de refugio y descanso; estas zonas son depresiones formadas en el fondo, comúnmente denominadas “pozas” (Jiménez-Domínguez y Olivera-Gómez, 2014). Aunque algunos estudios recalcan que profundidades someras (< 4.5 metros) pueden ser las más frecuentadas por la especie (Corona Figueroa, 2012).

En el río Sarstún, las variables significativas para la detección de manatíes fueron la profundidad, transparencia, conductividad y porcentaje de saturación de oxígeno. Mientras que en los ríos Lagartos y Oscuro la profundidad y transparencia fueron las variables significativas. Por el contrario, en el río Chocón Machacas no se encontraron variables significativas para la detección del manatí. Según un estudio realizado por Corona-Figueroa y colaboradores (2021), la conductividad es mayor en ambientes

salinos, como lo obtenido en los análisis de Spearman (Tabla 17), y, a medida que aumenta la conductividad y la transparencia, aumenta la probabilidad de detectar manatíes. Ello debido a que, a pesar de que los manatíes pueden vivir tanto en agua dulce como salada, estos prefieren aguas dulces o salobres. Además, existe evidencia de la correlación positiva entre la cobertura vegetal en hábitats mesohalinos y la conductividad/salinidad y transparencia del agua (Corona-Figueroa *et al*, 2021; Quintana Rizzo, 1993). De igual forma, el oxígeno disuelto se correlaciona de manera positiva con el desarrollo de plantas acuáticas, que podrían servir de alimento para el manatí (Quintana Rizzo, 1993).

Asimismo, el ambiente bentónico de todos los ríos muestreados fue predominantemente limoso/arenoso, con materia orgánica en descomposición y troncos de árboles sumergidos. La vegetación de ribera, así como la materia orgánica sumergida (hojas, ramas, frutos, raíces y troncos]) son lo que provoca que estos ríos sean de aguas oscuras, debido a los taninos que liberan en el agua al descomponerse (McLarty *et al*, 2019; Gonzalez-Socoloske *et al*, 2009; Gonzalez-Socoloske & Olivera-Gomez, 2012). Por lo que en ríos que poseen mayor cantidad de materia orgánica sumergida, la transparencia es menor, tal como en el río Ciénega. Ello podría ser otro factor que limite la distribución de la especie en dicho río.

E. Consideraciones para la conservación

El estudio brinda información valiosa sobre la presencia del manatí y la caracterización de su hábitat en ríos tributarios. Estos resultados evidencian que los manatíes efectivamente utilizan estos hábitats disponibles, por lo que es recomendable realizar esfuerzos para conservar y manejar adecuadamente estos ríos. Además, la metodología utilizada en este estudio demuestra que es útil para la detección de manatíes, lo que la convierte en una herramienta valiosa para futuros monitoreos en todas las áreas protegidas (y no protegidas) donde se distribuye la especie. En este sentido, se propone un protocolo para utilizar el sonar de barrido lateral para el monitoreo de manatíes en los ríos oscuros de Guatemala, el cual puede ser consultado por técnicos y guardarrrecursos de las áreas protegidas. No obstante, cabe indicar que es importante

realizar capacitaciones en campo, dirigidas a los futuros usuarios, para facilitar la utilización de esta herramienta.

Debido a las actualizaciones de los polígonos de las áreas protegidas Parque Nacional Río Dulce (PNRD) y Biotopo Universitario Chocón Machacas (BUCM), la parte norte de El Golfete y las lagunas de Lagunita Salvador, donde hay presencia de manatíes, son parte de la Zona Primitiva del PNRD (Quan y Morales, 2004). Esto ha generado dudas sobre si el BUCM debe seguir incluyendo al manatí como elemento natural de conservación. Sin embargo, los resultados de este estudio demuestran que el río Chocón Machacas, que se encuentra dentro del polígono del BUCM, también es un hábitat utilizado por los manatíes. Esto sugiere que las acciones de manejo que se realicen en el biotopo pueden contribuir a la conservación de esta especie en peligro de extinción. Por lo tanto, se recomienda mantener al manatí como elemento natural de conservación en las actualizaciones futuras de los planes maestros del BUCM.

El conocimiento de la caracterización del hábitat en ríos tributarios es importante para la planificación de acciones de conservación, como la rehabilitación de manatíes silvestres. Los resultados de este estudio sugieren que estos ríos podrían ser utilizados como posibles sitios para la rehabilitación de manatíes, ya que ofrecen las condiciones necesarias para su supervivencia. Además, la información sobre la ubicación espacial de la vegetación acuática que forma parte de la dieta del manatí puede ser útil para planificar los procesos de rehabilitación.

IX. Conclusiones

- Este es el primer estudio en el que se utiliza el SBL para la detección del manatí en ríos tributarios y la caracterización de su hábitat en Guatemala.
- Los ríos Sarstún, Oscuro y Lagartos presentaron la mayor abundancia de manatíes, los cuales se caracterizaron por mayor cantidad de vegetación sumergida.
- Se determinó la ausencia completa de la especie en río Ciénega, por lo que todos los ríos, excepto este, cuentan con características heterogéneas favorables para la presencia y distribución del manatí, al menos durante el periodo de muestreo de este estudio.
- Existe variación en la presencia y cantidad de manatíes, y variables ambientales entre ríos y meses muestreados.
- La mayoría de ríos se encuentra asociados a bosque, sin embargo muchos muestran deforestación, la cual podría provocar sedimentación y erosión del suelo, deteriorando así el hábitat.
- Según los modelos estadísticos, la presencia de manatíes se explica por la cantidad de lanchas con motor y sin motor. Asimismo, la presencia de manatíes se encontró asociada a la temperatura media. Por otra parte, la cantidad de manatíes se explica por la cantidad de lanchas con motor y sin motor, profundidad y conductividad. Esto evidencia el desarrollo antropogénico en áreas de presencia y distribución del manatí. Sin embargo, es necesaria la generación de más datos para obtener análisis robustos.
- Los manatíes hacen uso de los ríos tributarios de Izabal, principalmente, en zonas de confluencia entre ríos, ya que son sitios que brindan condiciones heterogéneas para la especie.

- La metodología de SBL es complementaria a otras metodologías para observar manatíes (p. ej. sobrevuelos), ya que brinda mayor información respecto a la presencia de manatíes en cuerpos de agua oscuros y las características de su hábitat, así como también representa un bajo costo. Es una herramienta efectiva para el estudio de especies crípticas. Por lo tanto, la metodología del SBL no sustituye ni excluye la implementación de otras metodologías de observación de manatíes.

X. Recomendaciones

- Priorizar áreas de monitoreo dentro las áreas protegidas en Izabal para la obtención de datos a largo plazo, y así determinar la posible relación entre la presencia y cantidad de manatíes con distintas variables ambientales, así como la obtención de datos de calidad de agua, comparando la variación entre épocas, que podría proporcionar información que mejore los planes de manejo de cada área.
- Fortalecer las actividades de manejo y vigilancia en el área protegida. Así como asegurar el cumplimiento de la legislación ambiental, de manera que se evite la cacería y el uso de artes de pesca ilegales e implementar regulaciones de tránsito y velocidad de embarcaciones, especialmente en áreas de desembocadura y dentro de los ríos; los cuales ponen en riesgo al manatí.
- Continuar con las investigaciones biológicas acerca del manatí y de su hábitat en Guatemala, puesto que se desconoce el estado poblacional de la especie, es necesario el desarrollo de investigación científica para llenar vacíos de información.
- Asegurar el cumplimiento de la legislación ambiental, el monitoreo continuo del manatí y de su hábitat, la implementación de educación ambiental, y el establecimiento y mejora de los planes y acciones de manejo del área protegida, involucrando a todos los sectores (institucional, gubernamental y población en general).
- Aumentar el esfuerzo de muestreo dentro de cada río, así como realizar un seguimiento de los monitoreos con la misma metodología.
- Realizar una base de datos para avistamientos oportunistas que pueda ser compartida con personas que transitan constantemente dentro del área protegida, incluyendo personal técnico y guardarrrecursos de distintas instituciones y CONAP, para obtener información de la población, preferencia de sitios y desplazamiento de individuos.

XI. Referencias Bibliográficas

- Alves-Stanley, C., Worthy, G. & Bonde, R. (2010). Feeding preferences of West Indian manatees in Florida, Belize, and Puerto Rico as indicated by stable isotope analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 255-267. <https://doi.org/10.3354/meps08450>
- Castelblanco-Martínez, D., dos Reis, V. & de Thoisy, B. (2017). 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. <https://doi.org/10.1017/S0030605316000922>
- Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) y Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP). (En revisión). Plan Maestro 2010-2014 Biotopo Protegido para la Conservación del Manatí "Chocón Machacas". 154 pp.
- Consejo Nacional de Áreas Protegidas -CONAP-. (2019). Plan Maestro Parque Nacional Río Dulce -PNRD- Segunda actualización, documento técnico No. 33-2019. Guatemala.
- Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres [CITES]. (20 de agosto de 2021). *Lista de Verificación de Especies CITES*. https://checklist.cites.org/#/en/search/output_layout=alphabetical&level_of_listing=0&show_synonyms=1&show_author=1&show_english=1&show_spanish=1&show_french=1&scientific_name=Trichechus+manatus&page=1&per_page=20
- Corona-Figueroa, M, F. (2012). *Uso y preferencia de hábitat del manatí antillano (Trichechus manatus manatus) en el Parque Nacional Río Dulce, Izabal, Guatemala*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].

- Corona-Figueroa, M. F. (2013). Parque Nacional Río Dulce: hábitat importante para la conservación del manatí antillano *Trichechus manatus manatus* (Sirenia: Trichechidae). *Ciencia y Conservación* 4, 50-59.
- Corona-Figueroa, M. F. (2019). Análisis de los 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. *Time*, 6(3), 198. <http://hdl.handle.net/11554/9047>
- Corona-Figueroa, M. F. y Arévalo-González, K. (2018). *Uso del Sonar de Barrido Lateral. Garmin echoMAP 74sv* [Póster].
- Corona-Figueroa, M. F., Ríos, N., Castelblanco-Martínez, D. N., Vilchez-Mendoza, S., Delgado-Rodríguez, D. & Niño-Torres, C. A. (2021). Searching for manatees in the dark waters of a transboundary river between Mexico and Belize: a predictive distribution model. *Aquatic Ecology*, 55(1), 59–74. <https://doi.org/10.1007/s10452-020-09810-9>
- Daniel, I., Serrano, A. y Sánchez, G. (2012). Distribución del manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) en el Sistema Lagunar de Alvarado (Veracruz, México). *Ciencias Marinas*, 38(2), 459-465.
- Del Valle, F. (2001). *Evaluación del área de distribución de la población de manatí (Trichechus manatus L) Trichechidae - Sirenia en Guatemala y sus principales amenazas*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Del Valle, F. (2002). *Protocolo de monitoreo para el manatí (Trichechus manatus manatus L)*. Informe Técnico. Fundación Defensores de la Naturaleza/National Fish and Wildlife Foundation, Guatemala.

- Di Rienzo, J. A., Balzarini, M., Gonzalez, L., Casanoves, F. y Tablada, M. (2023). Infostat Software Estadístico. Recuperado de: <https://www.infostat.com.ar/>
- Diario de Centro América [DCA]. Acuerdo Gubernativo 126-2021. 23 de junio de 2021 (Guatemala).
- Diario de Centroamérica [DCA]. Acuerdo Presidencial. Organismo Ejecutivo. Ministerio de Agricultura. 17 de diciembre de 1981 (Guatemala).
- Diario de Centroamérica [DCA]. Ley General de Pesca y Acuicultura, Decreto 80-2002. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 24 de diciembre de 2002 (Guatemala).
- Edwards, H. (2014). First Region-Wide Aerial Surveys of Antillean Manatees (*Trichechus manatus manatus*) in the Caribbean Waters of Mexico, Belize, and Guatemala, Central America. *Sirenews*, 62, 13.
- Fundación Defensores de la Naturaleza (2003). II Plan Maestro 2003-2007.
- Gallivan, G. J., & Best, R. C. (1980). Metabolism and respiration of the Amazonian manatee (*Trichechus inunguis*). *Physiological zoology*, 53(3), 245-253. DOI:10.1086/physzool.53.3.30155787
- Gonzalez-Socoloske, D., Olivera-Gomez, L. D., & Ford, R. E. (2009). Detection of free-ranging West Indian manatees *Trichechus manatus* using side-scan sonar. *Endangered Species Research*, 8(3), 249-257. <https://doi.org/10.3354/esr00232>
- Gonzalez-Socoloske, D., & Olivera-Gomez, L. (2012). Gentle Giants in Dark Waters: Using Side-Scan Sonar for Manatee Research. *The Open Remote Sensing Journal*, 5(1), 1–14. <https://doi.org/10.2174/1875413901205010001>

- Guzman, H. M., & Condit, R. (2017). Abundance of manatees in Panama estimated from side-scan sonar. *Wildlife Society Bulletin*, 41(3), 556–565. <https://doi.org/10.1002/wsb.793>.
- Hartman, D. (1979). Ecology and behavior of the manatee (*Trichechus manatus*) in Florida. *American Society of Mammalogist*, Special Publication No. 5, Nueva York. 153 pp.
- Herrera, F., Sandoval, K. y Quintana-Rizzo, E. (2004). Documento Técnico No. 13(02-2004). *Estrategia Nacional para la Conservación del Manatí (Trichechus manatus manatus) y su hábitat en Guatemala*. Consejo Nacional de Áreas Protegidas -Conap-.
- Hidalgo, H. y López, C. (2007). *Propuesta de Incorporación a la Convención Ramsar del Área Protegida “Reserva de Usos Múltiples río Sarstún”*. Fundación Para El Ecodesarrollo y La Conservación.
- Husar, S. L. (1978). Trichechus manatus. *Mammalian species*, (93), 1-5.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH. (2021). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Machuca, O. (2011). *Informe técnico final: Fortalecimiento institucional para consolidar el manejo y conservación del manatí (Trichechus manatus manatus) en la Costa Atlántica de Guatemala*. Fondo Nacional para la Conservación de la Naturaleza -FONACON- y Fundación Defensores de la Naturaleza.

- Machuca, O. (2015). *Análisis comparativo de los patrones de actividad del manatí antillano (Trichechus manatus manatus) en dos zonas de la Costa Atlántica de Guatemala* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Machuca, O. (2017). Protocolo de monitoreo y evaluación poblacional del Manatí Antillano (Trichechus manatus manatus) en el Área de Usos Múltiples río Sarstún. Consorcio FUNDAECO-Asociación Amantes de la Tierra.
- Machuca, O. y Corona, F. (2019). El manatí antillano *Trichechus manatus manatus* (Sirenia: Trichechidae) en Guatemala: amenazas y procesos de conservación. En Kraker, C., Calderón, A. y Cabrera, A. *Perspectivas de investigación sobre los mamíferos silvestres de Guatemala* (pp. 191-201). Asociación Guatemalteca de Mastozoólogos.
- Marínez, D., Albín, J., Cabaleiro, J., Pena, T., Rivera, F. y Blanco, V. (2009). El Criterio de Información de Akaike en la Obtención de Modelos Estadísticos de Rendimiento. *Jornadas de Paralelismo*, 20, 439-444.
- McLarty, M. J., Gonzalez-Socoloske, D., Alvarez-Alemán, A., & Angulo-Valdés, J. (2019). Manatee habitat characterization using side-scan sonar. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 100(1), 173–179. <https://doi.org/10.1017/S0025315419000973>
- Olivera-Gómez, L. D., & Mellink, E. (2005). Distribution of the Antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) as a function of habitat characteristics, in Bahía de Chetumal, México. *Biological Conservation*, 121(1), 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.02.023>
- Parkswatch. (2003). Perfil de Parque – Guatemala. Biotopo Protegido Chocón Machacas. https://www.parkswatch.org/parkprofiles/pdf/cmpb_spa.pdf

- Pérez, S., P. Herman, A. Kihn, J. Morales, N. Castillo, F. Ramírez, E. Cano, R. García, J. Ordóñez, M. Flores, A. Higueros, M. Acevedo, C. Vásquez, C. Burgos, H. Enríquez y H. Piérola (2001). Caracterización ecológica de los Biotopos Chocón Machacas, Izabal, y Cerro Cahuí, Petén. Universidad de San Carlos de Guatemala Dirección General de Investigación del Centro de Estudios Conservacionistas. Guatemala.
- Puc-Carrasco, G., Oliveira-Gómez, L. D., Arriaga-Hernández, S., & Jiménez-Domínguez, D. (2016). Relative abundance of Antillean manatees in the Pantanos de Centla Biosphere Reserve in the coastal plain of Tabasco, Mexico. *Ciencias Marinas*, 42(4), 261–270. <https://doi.org/10.7773/cm.v42i4.2678>
- Quan, C. y Morales, H. (2004). *Plan Maestro 2005-2010. Parque Nacional Río Dulce*. Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap) y Fondo Nacional para la Conservación (Fonacon).
- Quintana-Rizzo, E. (1993). *Estimación de la distribución y el tamaño poblacional del manatí Trichechus manatus (Trichechidae-Sirenia) en Guatemala* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Quintana-Rizzo, E. & Reynolds III, J. (2010). *Regional management plan for the West Indian manatee (Trichechus manatus)*. PNUMA. UNEP. CEP Technical Report 48.
- Quintana-Rizzo, E. y Machuca, O. (2008). *Monitoreo científico para la conservación del manatí y su hábitat*. Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN). Fondo Nacional para la Conservación (FONACON).
- R Development Core Team. (2023). The R Project for Statistical Computing. Recuperado de: <https://www.r-project.org/>

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia de la República de Guatemala -SEGEPLAN-. (09 de diciembre de 2022). Presentan informe de daños, pérdidas y costos adicionales por paso del ciclón tropical Julia. *Gobierno de Guatemala, Sala de Prensa.*

Self-Sullivan, C. & Mignucci, A. (2008). *Trichechus manatus* ssp. *manatus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T22105A9359161.en>.

Romero-Oliva, C. 2006. Distribución y abundancia relativa de la época lluviosa (diciembre) de la población de manatí (*Trichechus manatus manatus*) en Guatemala y comparación época seca (junio) 2005. Plan de Acción para el Desarrollo del Monitoreo y Conservación del manatí en el Golfo de Honduras. Comitato Internazionale per lo Sviluppo del Popoli (CISP).

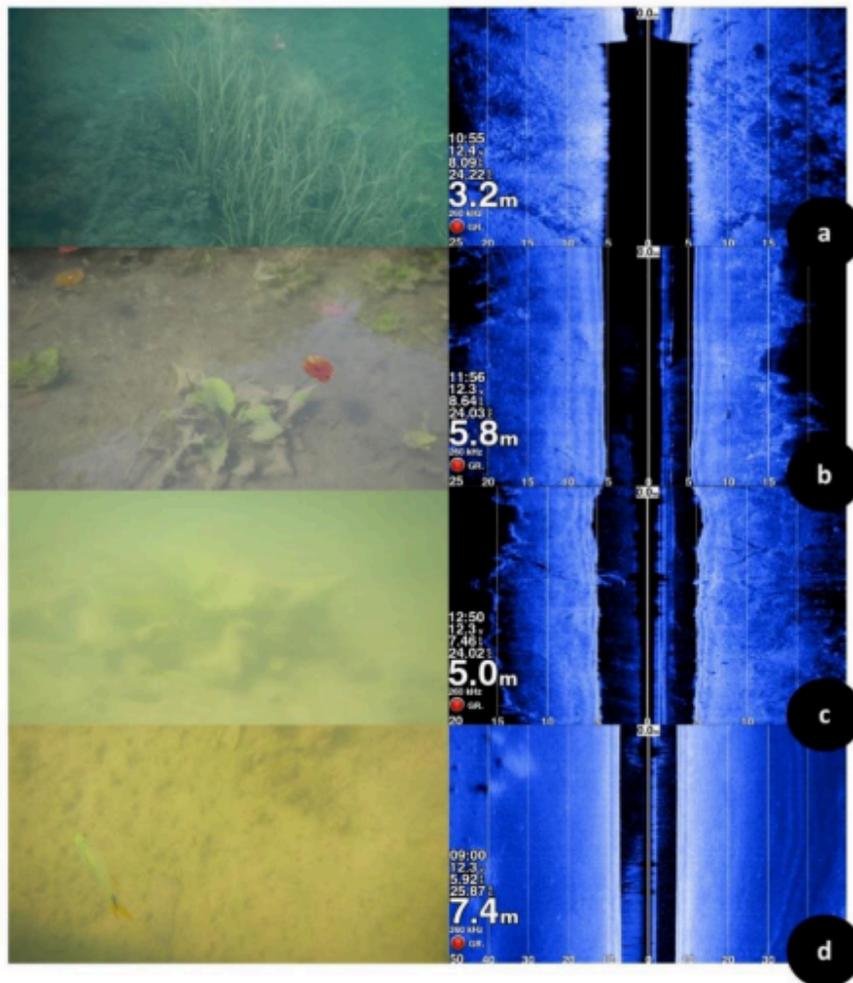
Reynolds III, J., Powell, J. y Taylor, C. (2002). Manatees. *Trichechus manatus*, *Trichechus senegalensis* and *T. inunguis*. In: Perrin, W., Würsig, B. y Thewissen, J. *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press, California, USA, pp. 682–69.

Ruiz Valladares, E. (2008). Registro de los valores culturales de las comunidades indígenas y no indígenas asentadas en la Costa Atlántica, Izabal, para la conservación del Manatí (*Trichechus manatus manatus*). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -CONCYT-.

Yáñez-Arancibia, A., Zárate Lomelí, D., Gómez Cruz, M., Godínez Orantes, R., & Santiago Fandiño, V. (1999). The ecosystem framework for planning and management the Atlantic coast of Guatemala. *Ocean & Coastal Management*, 42, 283–317.

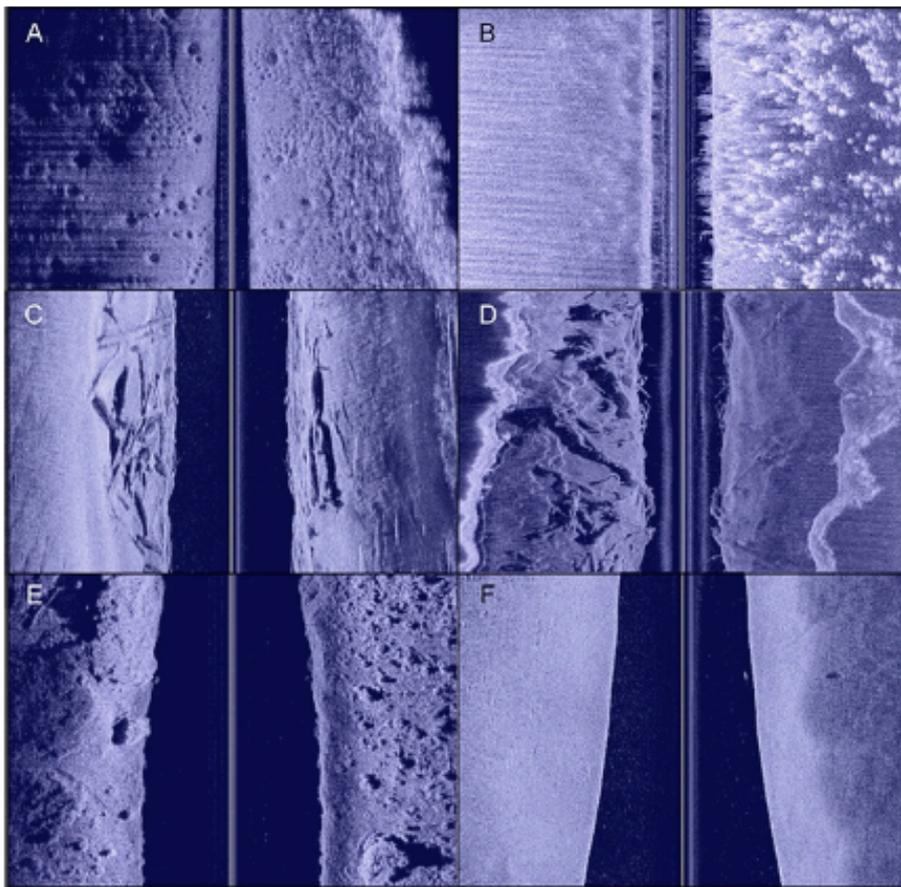
XII. Anexos

Figura 12: Tipos de fondo determinados en los segmentos muestreados del río Hondo: a) pastos densos, b) pastos dispersos, c) sustrato de manglar y d) sustrato limoso. Fotografías: GK Arévalo-González y MF Corona-Figueroa (2019).



Fuente: Obtenido de Corona Figueroa, 2019.

Figura 13: Caracterización del hábitat mediante sonar de barrido lateral. Capturas de pantalla representativas de varios hábitats en sistemas de agua dulce. A) Fondo poco profundo con orificios de tamaño pequeño a mediano en el sedimento blando. Laguna de las Ilusiones, México. B) Vegetación submarina. Tabasco, México. C) Troncos sumergidos en sedimentos de fondo por lo demás lisos. Tortuguero, Costa Rica. D) Ramas sumergidas parcialmente cubiertas de sedimentos. San San Pond Sak, Panamá. E) Sustrato de fondo rocoso duro. Tortuguero, Costa Rica. F) Sedimento liso sin rocas, vegetación ni ramas. Tortuguero, Costa Rica.



Fuente: Obtenido de Gonzalez-Socoloske y Olivera-Gomez (2012).

Figura 14: Ejemplos de capturas de sonar de barrido lateral considerados como positivos para manatíes en ríos bajo estudio. A) río oscuro, 22/11/2022, CV=0.83; B) río Sarstún, 13/09/2022, CV=0.91.

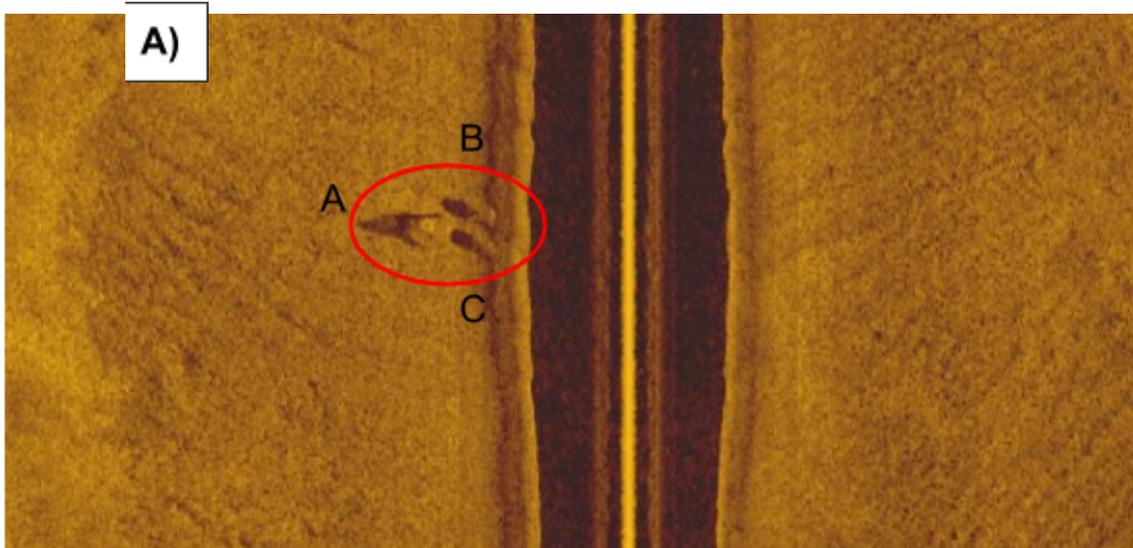


Tabla 13: Análisis de contrastes de Kruskal-Wallis. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Variable	Análisis de contrastes			
<i>Análisis según meses de muestreo</i>				
pH	Trat.	Ranks		
	agosto	98.50	A	
	noviembre	112.93	A	
	septiembre	121.71	A	B
octubre	139.22		B	
Temperatura	Trat.	Ranks		
	noviembre	87.65	A	
	octubre	107.21	A	
	septiembre	111.36	A	
agosto	165.59		B	
Oxígeno disuelto	Trat.	Ranks		
	octubre	101.77	A	
	agosto	109.53	A	
	septiembre	115.41	A	
noviembre	145.02		B	
Porcentaje de O ₂	Trat.	Ranks		
	octubre	101.36	A	
	agosto	111.08	A	
	septiembre	114.45	A	
noviembre	144.82		B	
Conductividad	Trat.	Ranks		
	octubre	85.66	A	
	septiembre	114.59		B
	agosto	132.13		B
noviembre	139.08		B	
TDS	Trat.	Ranks		
	octubre	85.22	A	
	septiembre	113.08		B
	agosto	131.29		B
noviembre	141.86		C	C

Salinidad	Trat.	Ranks			
	octubre	85.36	A		
	septiembre	114.58		B	
	agosto	131.93		B	C
	noviembre	139.57			C
<i>Análisis según ríos muestreados</i>					
Profundidad	Trat.	Ranks			
	Ciénega	50.53	A		
	Lagartos	79.99	A	B	
	Oscuro	90.19		B	
	Sarstún	141.01			C
	Chocón M	162.31			C
Transparencia	Trat.	Ranks			
	Ciénega	33.30	A		
	Chocón M	111.09		B	
	Sarstún	111.16		B	
	Oscuro	166.68			C
	Lagartos	180.75			C
pH	Trat.	Ranks			
	Lagartos	53.79	A		
	Oscuro	64.61	A		
	Chocón M	103.38		B	
	Sarstún	161.74			C
	Ciénega	179.29			C
Temperatura	Trat.	Ranks			
	Lagartos	90.36	A		
	Oscuro	94.73	A		
	Sarstún	109.05	A	B	
	Ciénega	128.88		B	C
	Chocón M	155.53			C
Oxígeno disuelto	Trat.	Ranks			
	Lagartos	27.39	A		
	Oscuro	55.84	A		
	Chocón M	117.50		B	
	Sarstún	172.52			C
	Ciénega	175.18			C

Porcentaje de O ₂	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trat.</th> <th>Ranks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lagartos</td> <td>26.81 A</td> </tr> <tr> <td>Oscuro</td> <td>55.14 A</td> </tr> <tr> <td>Chocón M</td> <td>119.42 B</td> </tr> <tr> <td>Sarstún</td> <td>172.53 C</td> </tr> <tr> <td>Ciénega</td> <td>173.74 C</td> </tr> </tbody> </table>	Trat.	Ranks	Lagartos	26.81 A	Oscuro	55.14 A	Chocón M	119.42 B	Sarstún	172.53 C	Ciénega	173.74 C
Trat.	Ranks												
Lagartos	26.81 A												
Oscuro	55.14 A												
Chocón M	119.42 B												
Sarstún	172.53 C												
Ciénega	173.74 C												
Conductividad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trat.</th> <th>Ranks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oscuro</td> <td>37.14 A</td> </tr> <tr> <td>Chocón M</td> <td>77.56 B</td> </tr> <tr> <td>Ciénega</td> <td>109.29 C</td> </tr> <tr> <td>Lagartos</td> <td>152.68 D</td> </tr> <tr> <td>Sarstún</td> <td>189.23 E</td> </tr> </tbody> </table>	Trat.	Ranks	Oscuro	37.14 A	Chocón M	77.56 B	Ciénega	109.29 C	Lagartos	152.68 D	Sarstún	189.23 E
Trat.	Ranks												
Oscuro	37.14 A												
Chocón M	77.56 B												
Ciénega	109.29 C												
Lagartos	152.68 D												
Sarstún	189.23 E												
TDS	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trat.</th> <th>Ranks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oscuro</td> <td>36.84 A</td> </tr> <tr> <td>Chocón M</td> <td>76.85 B</td> </tr> <tr> <td>Ciénega</td> <td>106.71 C</td> </tr> <tr> <td>Lagartos</td> <td>151.72 D</td> </tr> <tr> <td>Sarstún</td> <td>192.17 E</td> </tr> </tbody> </table>	Trat.	Ranks	Oscuro	36.84 A	Chocón M	76.85 B	Ciénega	106.71 C	Lagartos	151.72 D	Sarstún	192.17 E
Trat.	Ranks												
Oscuro	36.84 A												
Chocón M	76.85 B												
Ciénega	106.71 C												
Lagartos	151.72 D												
Sarstún	192.17 E												
Salinidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Trat.</th> <th>Ranks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oscuro</td> <td>36.75 A</td> </tr> <tr> <td>Chocón M</td> <td>79.59 B</td> </tr> <tr> <td>Ciénega</td> <td>106.26 B</td> </tr> <tr> <td>Lagartos</td> <td>149.14 C</td> </tr> <tr> <td>Sarstún</td> <td>191.61 D</td> </tr> </tbody> </table>	Trat.	Ranks	Oscuro	36.75 A	Chocón M	79.59 B	Ciénega	106.26 B	Lagartos	149.14 C	Sarstún	191.61 D
Trat.	Ranks												
Oscuro	36.75 A												
Chocón M	79.59 B												
Ciénega	106.26 B												
Lagartos	149.14 C												
Sarstún	191.61 D												

Tabla 14: Categorización de las variables fisicoquímicas del agua y variables de perturbación antropogénica.

Variable	Categoría	Variable	Categoría	Variable	Categoría
Profundidad	Somero (0 a 4.6 m)	pH	Poco ácido (5-6.76)	Temperatura	Baja (23.2 a 25.8°C)
	Intermedio (4.7 a 8.9 m)		Neutro (7.59)		Media (25.9 a 28.4°C)
	Profundo (> 9 m)		Alcalino (8.43)		Alta (28.5 a 31°C)
Transparencia	Baja (0 a 2.5 m)	Oxígeno disuelto	Bajo (0 a 3 mg/L)	Conductividad	Baja (75 a 150 µS/cm)
	Media (2.6 a 5 m)		Medio (3.1 a 6 mg/L)		Media (151 a 300µS/cm)
	Alta (5.1 a 7.5 m)		Alto (6.1 a 9 mg/L)		Alta (301 a 1110 µS/cm)
					Muy alta (1111 a 14870 µS/cm)

TDS	Bajo (37 a 100 ppm) Medio (101 a 250 ppm) Alto (251 a 550 ppm) Muy alto (551 a 7530 ppm)	Salinidad	Baja (0.02 a 0.20 ppm) Media (0.21 a 0.55 ppm) Alta (0.56 a 12.57 ppm)	Lanchas con motor	Cantidad baja (0 a 3) Cantidad media (4 a 6) Cantidad alta (7 a 9)
Lanchas sin motor	Cantidad baja (0 a 4) Cantidad media (5 a 8) Cantidad alta (9 a 12)				

Tabla 15: Contribución a la Chi-cuadrado de las variables de categorías de temperatura para la presencia de manatíes.

	C2	C3	C1	Total
0	0.10	0.34	0.03	0.48
1	0.82	2.77	0.23	3.82
Total	0.92	3.11	0.26	4.29

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.14	0.02	4.29	100.00	100.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Coordenadas fila

	Eje 1	Eje 2
0	0.05	0.00
1	-0.38	0.00

Coordenadas columna

	Eje 1	Eje 2
C2	-0.07	0.00
C3	0.35	0.00
C1	0.08	0.00

Tabla 16: Contribución a la Chi-cuadrado de las variables de categorías de cantidad de lanchas sin motor para la presencia de manatíes.

	C1	C3	C2	Total
0	0.01	0.34	0.89	1.24
1	0.11	2.76	7.19	10.05
Total	0.12	3.10	8.08	11.30

Contribución a la Chi cuadrado

	Autovalor	Inercias	Chi-Cuadrado	(%)	% acumulado
1	0.22	0.05	11.30	100.00	100.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Coordenadas fila

	Eje 1	Eje 2
0	-0.08	0.00
1	0.62	0.00

Coordenadas columna

	Eje 1	Eje 2
C1	-0.02	0.00
C3	1.25	0.00
C2	2.84	0.00

Tabla 17: Cálculo de correlación de Spearman de las variables fisicoquímicas.

Variable(1)	Variable(2)	n	Spearman	p-valor
Profundidad (m)	Transparencia (m)	228	2.90E-03	0.9654
Profundidad (m)	pH	228	0.17	0.0119
Profundidad (m)	Temperatura	228	-0.15	0.0276
Profundidad (m)	Oxígeno disuelto	228	0.13	0.0454
Profundidad (m)	% oxígeno	228	0.12	0.0667
Profundidad (m)	Conductividad	228	-0.01	0.8904
Profundidad (m)	TDS	228	-0.02	0.8097
Profundidad (m)	Salinidad	228	-0.01	0.9221
Transparencia (m)	Profundidad (m)	228	2.90E-03	0.9654
Transparencia (m)	pH	235	-0.45	<0.0001
Transparencia (m)	Temperatura	235	0.07	0.3153
Transparencia (m)	Oxígeno disuelto	235	-0.47	<0.0001
Transparencia (m)	% oxígeno	235	-0.46	<0.0001
Transparencia (m)	Conductividad	235	-0.01	0.9248
Transparencia (m)	TDS	235	0.02	0.8132
Transparencia (m)	Salinidad	235	0.02	0.815
pH	Profundidad (m)	228	0.17	0.0119
pH	Transparencia (m)	235	-0.45	<0.0001
pH	Temperatura	235	-0.08	0.2174

pH	Oxígeno disuelto	235	0.74	<0.0001
pH	% oxígeno	235	0.73	<0.0001
pH	Conductividad	235	0.23	0.0004
pH	TDS	235	0.23	0.0003
pH	Salinidad	235	0.24	0.0001
Temperatura	Profundidad (m)	228	-0.15	0.0276
Temperatura	Transparencia (m)	235	0.07	0.3153
Temperatura	pH	235	-0.08	0.2174
Temperatura	Oxígeno disuelto	235	0.03	0.6286
Temperatura	% oxígeno	235	0.06	0.323
Temperatura	Conductividad	235	-0.01	0.9383
Temperatura	TDS	235	-3.20E-03	0.9605
Temperatura	Salinidad	235	0.01	0.8369
Oxígeno disuelto	Profundidad (m)	228	0.13	0.0454
Oxígeno disuelto	Transparencia (m)	235	-0.47	<0.0001
Oxígeno disuelto	pH	235	0.74	<0.0001
Oxígeno disuelto	Temperatura	235	0.03	0.6286
Oxígeno disuelto	% oxígeno	235	1	<0.0001
Oxígeno disuelto	Conductividad	235	0.38	<0.0001
Oxígeno disuelto	TDS	235	0.4	<0.0001
Oxígeno disuelto	Salinidad	235	0.41	<0.0001

% oxígeno	Profundidad (m)	228	0.12	0.0667
% oxígeno	Transparencia (m)	235	-0.46	<0.0001
% oxígeno	pH	235	0.73	<0.0001
% oxígeno	Temperatura	235	0.06	0.323
% oxígeno	Oxígeno disuelto	235	1	<0.0001
% oxígeno	Conductividad	235	0.38	<0.0001
% oxígeno	TDS	235	0.4	<0.0001
% oxígeno	Salinidad	235	0.41	<0.0001
Conductividad	Profundidad (m)	228	-0.01	0.8904
Conductividad	Transparencia (m)	235	-0.01	0.9248
Conductividad	pH	235	0.23	0.0004
Conductividad	Temperatura	235	-0.01	0.9383
Conductividad	Oxígeno disuelto	235	0.38	<0.0001
Conductividad	% oxígeno	235	0.38	<0.0001
Conductividad	TDS	235	0.97	<0.0001
Conductividad	Salinidad	235	0.96	<0.0001
TDS	Profundidad (m)	228	-0.02	0.8097
TDS	Transparencia (m)	235	0.02	0.8132
TDS	pH	235	0.23	0.0003

TDS	Temperatura	235	-3.20E-03	0.9605
TDS	Oxígeno disuelto	235	0.4	<0.0001
TDS	% oxígeno	235	0.4	<0.0001
TDS	Conductividad	235	0.97	<0.0001
TDS	Salinidad	235	0.99	<0.0001
Salinidad	Profundidad (m)	228	-0.01	0.9221
Salinidad	Transparencia (m)	235	0.02	0.815
Salinidad	pH	235	0.24	0.0001
Salinidad	Temperatura	235	0.01	0.8369
Salinidad	Oxígeno disuelto	235	0.41	<0.0001
Salinidad	% oxígeno	235	0.41	<0.0001
Salinidad	Conductividad	235	0.96	<0.0001
Salinidad	TDS	235	0.99	<0.0001

Tabla 18: Valores de p de las variables de los modelos lineales generalizados (GLM) realizados de presencia/ausencia y de detecciones con menor AICc. (P=Profundidad; Tr=Transparencia; O=Porcentaje de saturación de oxígeno; C=Conductividad; T=Temperatura; LC=Lanchas con motor; LS=Lanchas sin motor).

Ríos	Modelo	Variables
<i>Sarstún, Chocón Machacas, Lagartos y Oscuro</i>	Presencia/ ausencia	Deviance Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -0.9294 -0.5210 -0.5210 -0.4143 2.2352 Coefficients: Estimate Std. Error z value Pr(> z) (Intercept) -1.9287 0.2266 -8.511 <2e-16 *** LC -0.4835 0.3366 -1.436 0.1509 LS 0.4376 0.1993 2.195 0.0281 *
	Detecciones	Deviance Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -1.5292 -0.7008 -0.5695 -0.4546 3.1640 Coefficients: Estimate Std. Error z value Pr(> z) (Intercept) -9.123e-01 3.648e-01 -2.501 0.012383 * P -1.189e-01 5.268e-02 -2.258 0.023970 * C 1.946e-04 7.117e-05 2.734 0.006254 ** LC -3.023e-01 1.837e-01 -1.646 0.099822 . LS 2.739e-01 8.231e-02 3.328 0.000875 ***
<i>Sarstún</i>	Presencia/ ausencia	Deviance Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -1.2292 -0.6369 -0.6369 -0.4592 2.1457 Coefficients: Estimate Std. Error z value Pr(> z) (Intercept) -1.4924 0.3531 -4.226 2.38e-05 *** LC -0.7042 0.4738 -1.486 0.1372 LS 0.5378 0.2851 1.886 0.0593 .
	Detecciones	Deviance Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -1.3641 -0.8173 -0.5039 -0.2116 2.2757 Coefficients: Estimate Std. Error z value Pr(> z) (Intercept) -1.477e+01 7.251e+00 -2.036 0.0417 * P -1.505e-01 7.396e-02 -2.034 0.0419 * Tr -2.674e+00 9.527e-01 -2.807 0.0050 ** pH 1.246e+00 9.538e-01 1.306 0.1916 O 8.874e-02 3.555e-02 2.496 0.0126 * C 3.090e-04 1.317e-04 2.346 0.0190 *

<i>Chocón Machacas</i>	Presencia/ ausencia	Deviance Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -0.4325 -0.3108 -0.2648 -0.2062 2.5682 Coefficients: Estimate Std. Error z value Pr(> z) (Intercept) -8.098240 23.182827 -0.349 0.727 P 0.245577 0.363912 0.675 0.500 T 0.076304 0.774811 0.098 0.922 C 0.001691 0.033537 0.050 0.960
	Detecciones	Deviance Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -0.7158 -0.3839 -0.2881 -0.1972 2.7347 Coefficients: Estimate Std. Error z value Pr(> z) (Intercept) -12.79105 19.89870 -0.643 0.520 P 0.28495 0.31445 0.906 0.365 T 0.33823 0.65944 0.513 0.608 C -0.01423 0.02245 -0.634 0.526
<i>Lagartos y Oscuro</i>	Presencia/ ausencia	Deviance Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -0.9409 -0.5851 -0.4598 -0.2627 2.3883 Coefficients: Estimate Std. Error z value Pr(> z) (Intercept) -3.410657 7.376909 -0.462 0.6438 P -0.540387 0.308283 -1.753 0.0796 . T 0.099204 0.264264 0.375 0.7074 C 0.007562 0.007686 0.984 0.3252
	Detecciones	Deviance Residuals: Min 1Q Median 3Q Max -1.4195 -0.6776 -0.4537 -0.1422 2.3638 Coefficients: Estimate Std. Error z value Pr(> z) (Intercept) 0.246457 1.553089 0.159 0.8739 P -0.514108 0.245728 -2.092 0.0364 * Tr -1.233786 0.560324 -2.202 0.0277 * O 0.039578 0.022990 1.722 0.0851 . C 0.009984 0.005532 1.805 0.0711 . LC -0.594257 0.536846 -1.107 0.2683

Apéndice 1: Propuesta de protocolo de monitoreo de manatíes usando el sonar de barrido lateral.

Para el estudio de manatíes mediante sonar de barrido lateral, se propone el siguiente protocolo, asumiendo que se cuentan con los permisos y autorizaciones respectivas para trabajar en el área de estudio seleccionada:

1. Planificar el muestreo y comprobar el equipo antes de llevarlo al campo.

Asegurarse que la batería posea suficiente carga, que todos los componentes estén en buen estado y que la memoria o tarjeta microSD posea suficiente espacio de almacenamiento. Asimismo, verificar que los cables de corriente y cables del transductor tengan un buen funcionamiento.

2. Instalación del equipo en campo: Ya en campo, asegurar firmemente el soporte que sostiene al transductor en el borde de la embarcación, de manera que este no se mueva con el movimiento durante el recorrido. El soporte debe colocarse de manera que el transductor se encuentre a la altura de la base de la lancha, de preferencia situado en la parte posterior de la embarcación, y evitando que la embarcación y el motor de esta interfieran con la imagen que proyecta la pantalla del sonar. Asimismo, el transductor debe dirigirse hacia la parte posterior de la embarcación.

Una vez instalado el soporte, conectar los cables del transductor en la parte posterior de la pantalla del sonar. Después, conectar el cable de la pantalla del sonar a la fuente de poder o batería; el cable tiene dos pinzas, una en cada extremo. La pinza del cable color rojo se conecta al polo positivo (“+”) de la batería y la pinza del cable color negro, en el polo negativo (“-”). Por último, encender la pantalla del sonar y comprobar el funcionamiento del transductor y, de ser necesario, realizar ajustes en la posición del transductor.

- 3. Funcionamiento del sonar y registro de información.** Antes de iniciar el recorrido, asegúrese que las condiciones ambientales son ideales para llevar a cabo el monitoreo. Si las condiciones son favorables, asegúrese que el sonar se encuentre en modo de exploración SideView, seleccionando la opción en el menú. Asimismo, ajuste la medida del ancho del río en la pantalla del sonar y verifique el nivel de batería remanente.

Al comenzar, verifique que la velocidad de la embarcación no afecte la imagen, esta debe ser no mayor a 7 km/h; de ser así, regule la velocidad del motor hasta que la imagen esté nítida y estable. Recomendamos hacer grabaciones de la pantalla de todo el recorrido, idealmente en intervalos de 30 minutos para no saturar la memoria. Se debe contar con un acompañante para las observaciones directas de individuos en campo.

- 4. Reconocimiento de manatíes e identificación de objetos.** Identifique a los individuos en estudio, puede basarse en literatura o a partir de experiencias de otros colegas. Verifique las estructuras desde la superficie del agua. Registre confirmaciones directas (visualización de individuos en superficie) o indirectas (huellas de nado). También, pueden retornar con la embarcación al punto de detección; si el objeto observado por sonar permanece en el mismo sitio, se descarta la presencia de manatíes. Al reconocer manatí, o tener sospecha de su presencia, tomar puntos con el GPS y hacer capturas de pantalla con el sonar. Es recomendable tomar capturas de pantalla a pesar de que existan dudas de la presencia de manatíes, pues se tomarán como posibles manatíes detectados.

- 5. Recuperar y procesar información.** Descargar la información contenida en las tarjetas microSD, tal como videos y/o capturas de pantalla, así como los puntos registrados en el GPS de posibles manatíes. Los archivos de los recorridos y las grabaciones pueden ser revisados en el programa ReefMaster Sonar Viewer, el cual permite ver la ubicación de los puntos y obtener información registrada en campo como coordenadas geográficas, profundidad, temperatura, etc.

6. Análisis de confirmación de detección de manatíes. Las capturas de pantalla de manatíes confirmados y posibles manatíes en campo se pueden clasificar en códigos, por carpetas por mes, río y sección. Los objetos seleccionados como posibles manatíes en las grabaciones se identifican como waypoints con el programa ReefMaster Sonar Viewer y se ingresan a una base de datos con un código de identificación de imagen y coordenadas geográficas.

Con las imágenes e individuos seleccionados se realiza una primera evaluación, que consiste en filtrar las imágenes, descartando objetos que se observan en el mismo punto durante los distintos meses muestreados (p. ej. rocas, troncos). Al mismo tiempo, se analizan forma, tamaño y posición del objeto en comparación con las grabaciones de otros meses.

Posterior a la primera evaluación, se realiza una consulta con expertos por la metodología de evaluación de imágenes por pares, con el fin de evaluar si los objetos proyectados en las capturas corresponden a un manatí, de acuerdo con la metodología de Castelblanco-Martínez et al. 2017. Para esto se elabora un catálogo de imágenes con un numeral y un código de registro de cada captura. Adicional al catálogo, se puede incluir un formulario para la evaluación de cada imagen.

Referencias

Castelblanco-Martínez, D., dos Reis, V. y de Thoisy, B. (2017). 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. <https://doi.org/10.1017/S0030605316000922>

Figura 15: Infografía del uso del sonar de barrido lateral para el monitoreo de manatí antillano.

USO DEL SONAR DE BARRIDO LATERAL PARA EL MONITOREO DE MANATIES

Ana Lucía Escobar Cifuentes; Maria de Belen Chacón Paz; Mildred Fabiola Corona Figueroa

Para utilizar la ecosonda o el sonar de barrido lateral se requiere de una embarcación (lancha con motor, canoa, cayuco) que sea maniobrada a velocidad constante. Se recomienda una velocidad entre 7 y 10 km/h, aunque dependerá de la velocidad de la corriente de agua del río o el cuerpo de agua en estudio.

Partes de la ecosonda



Batería (fuente de energía)

Pantalla

Soporte del transductor

Transductor

Durante el muestreo en campo

- 1

Instalación del equipo. Verifique las conexiones de la batería y el transductor en la parte trasera de la pantalla del equipo. Asegúrese de colocar el soporte con el transductor en la embarcación, en una parte en la que la base y el motor de esta no interfieran con la imagen del sonar. El transductor debe dirigirse hacia la parte posterior de la embarcación.
- 2

Fuente de poder. Es la batería donde se conecta el cable para que funcione el sonar. El cable tiene dos pinzas, una en cada extremo. La pinza del cable rojo se conecta al polo "+" y la pinza del cable negro, en el polo "-". Antes de utilizar la batería, asegúrese que esté cargada. Para eso puede utilizar previamente un cargador.
- 3

Almacenamiento de la información y sistema de georreferenciación. Al encender la pantalla del sonar, calibre el brillo y contraste de la imagen según las condiciones del cuerpo de agua y de la luz solar. Verifique la presencia de la tarjeta microSD (con espacio suficiente) en la ranura y que el servicio de GPS esté activado.
- 4

Funcionamiento del sonar. Asegúrese de estar en modo de exploración SideView. Para eso, seleccione la opción en el menú. Verifique que la velocidad de la embarcación no afecte la imagen; de ser así, regule la velocidad del motor hasta que la imagen esté nítida y estable.

5

Captura de imágenes y toma de datos*. En el menú principal en la pantalla active el modo "Grabación", en la opción de exploración SideView. Oprima las teclas página y encendido de manera simultánea para realizar capturas de pantalla durante las grabaciones. Se recomienda grabar por intervalos de 30 minutos.

6

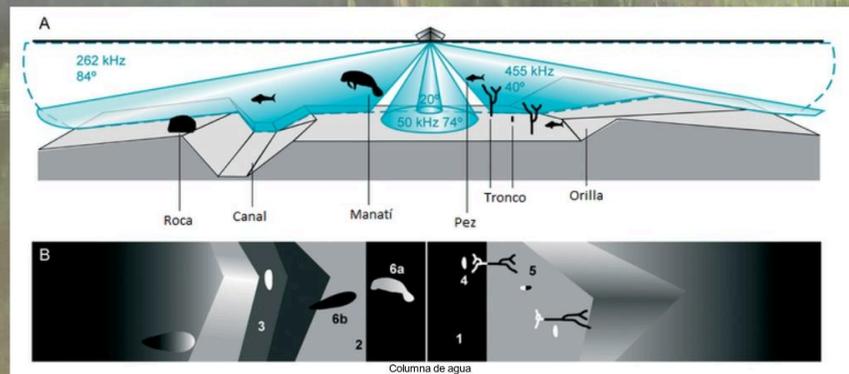
Reconocimiento de manatíes e identificación de objetos. Identifique a los individuos en estudio, puede basarse en literatura o a partir de experiencias de otros colegas. Verifique las estructuras desde la superficie del agua. Registre confirmaciones directas (visualización de individuos en superficie) o indirectas (huellas de nado).

Interpretación de la imagen



*Las instrucciones de uso pueden variar dependiendo del modelo del sonar. Las especificaciones en esta guía corresponden a la marca Lowrance.

(González-Socoblosky y Olivera-Gómez, 2012)



Adaptado de Mildred Fabiola Corona Figueroa y Gloria Katherine Arévalo González. 2018.



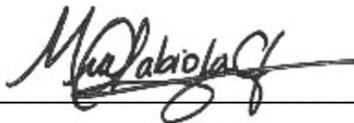
Br. Ana Lucía Escobar Cifuentes

Autora



Br. María de Belén Chacón Paz

Autora



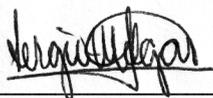
MSc. Mildred Fabiola Corona Figueroa

Asesor



Dr. Sergio Guillermo Pérez Consuegra

Revisor



Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares

Director de Escuela



Dr. Juan Francisco Pérez Sabino

Decano en Funciones

